



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

**Informe de trabajo final**

**“AGROCOMBUSTIBLES”**  
**ANÁLISIS DE POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES BAJO UN ENFOQUE**  
**AGROECOLÓGICO**

**NOMBRE:** Ana Lucía Brogna  
**LEGAJO:** 25263/9  
**DNI:** 32870433  
**CORREO:** [anabrogna@hotmail.com](mailto:anabrogna@hotmail.com)  
**TELÉFONO:** 221-5316292  
**DIRECTOR:** Ing. Agr. Sarandón, Santiago Javier  
**FECHA:** 19/10/2018

## INDICE

❖ Resumen.....	3
❖ Introducción.....	4
❖ Materiales y métodos.....	8
❖ CAPITULO 1: Agricultura y Energía.....	10
▪ Agricultura Sustentable.....	10
▪ Agricultura y Energía.....	14
▪ Flujos de energía.....	17
❖ CAPITULO 2: La energía en el mundo.....	21
▪ La Energía.....	21
▪ Consumo de energía.....	22
▪ Crisis energética.....	23
▪ Crisis ambiental.....	24
▪ Energías renovables.....	26
▪ Agrocombustibles.....	31
❖ CAPITULO 3: Agrocombustibles en Argentina.....	35
▪ Situación actual.....	35
▪ Biodiesel.....	37
▪ Definición y obtención.....	37
▪ Producción nacional.....	39
▪ Potencialidades.....	41
▪ Limitaciones.....	44
▪ Conclusión.....	49
▪ Bioetanol.....	50
▪ Definición y obtención.....	50
▪ Producción nacional.....	52
▪ Potencialidades.....	55
▪ Limitaciones.....	56
▪ Conclusión.....	64
❖ CAPITULO 4: Conclusiones y Comentarios finales.....	65
❖ CAPITULO 5: Bibliografía.....	69

## **RESUMEN**

La crisis energética y ambiental que se han manifestado en los últimos años a nivel mundial, caracterizada por un contexto de incertidumbre sobre el declive de las reservas de petróleo, unida a la preocupación por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, han aumentado el interés por reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Dentro de las alternativas existentes, los agrocombustibles se presentan mundialmente como una forma para paliar estas problemáticas. Si bien los agrocombustibles pueden ofrecer una serie de ventajas como combustibles alternativos, muchas señales de alerta están comenzando a surgir desde distintos ámbitos de la sociedad, la academia y los sectores productivos, por lo que es necesario realizar un análisis acerca de su sustentabilidad.

El objetivo de este trabajo es analizar las potencialidades y limitaciones de la producción de agrocombustibles líquidos, bioetanol y biodiesel, en la Argentina, desde una óptica holística y sistémica y bajo la perspectiva de una agricultura sustentable. Se enumeraron y analizaron, tanto sus potenciales ventajas como sus probables impactos económicos, sociales y ambientales, a partir de una revisión bibliográfica. A partir del análisis se concluyó que teniendo en cuenta el enfoque agroecológico, los agrocombustibles no representan una solución a la crisis energética y ambiental actual, y se realizaron algunas sugerencias finales.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las fuentes primarias de energía que dominan en el mundo son los hidrocarburos y corresponden al 85.5 % de toda la energía primaria consumida mundialmente (BP Statistical Review of World Energy, 2017). El carácter no renovable de estas energías y las perspectivas de agotamiento de las reservas en un mediano plazo, unidos al crecimiento permanente y sostenido de su demanda, debido a el proceso de crecimiento económico y de consumo de los países, generan una situación indudablemente problemática en el corto plazo. Así se llega a establecer que el problema energético del mundo actual consiste en que las fuentes principales de energía que usamos los humanos (los hidrocarburos) han mostrado sus límites y que su uso intensivo tiene un impacto al medio ambiente de dimensiones globales y catastróficas. Las proyecciones más alentadoras acerca de la duración del petróleo, arrojan valores de 80 años (Monsanto & SAGPYA, 2001) mientras que otros hablan de tan sólo 40 años y tal vez menos (Conneman & Fischer, 1999). Lo que en la actualidad significaría que alrededor de los años 2080- 2040, ya se habría agotado las reservas de petróleo.

Frente a esta situación surge la necesidad de encontrar energías alternativas a un costo que permita sostener dicho crecimiento con el menor impacto al medioambiente. Dentro de estas energías, denominadas “energías renovables” se encuentran la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía hidráulica y la obtenida a partir de biomasa. Mientras que la mayoría de estas energías alternativas tienen un desarrollo muy incipiente y solo representan el 3.2% del consumo mundial de energía primaria (BP Statistical Review of World Energy 2017), es inevitable preguntarse si existen fuentes energéticas suficientes que puedan sustituir a las fuentes fósiles y que permitan la conservación del medio ambiente para un desarrollo sustentable.

Los agrocombustibles son una alternativa más en vistas a buscar fuentes de energías sustitutivas a las energías de mayor consumo actual.

Los combustibles biológicos son obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos (González & Valero, 2011). Entre los principales agrocombustibles de primera generación se encuentran el bioetanol, el biodiésel y el biogás. La producción de bioetanol deriva de las biomásas de los cultivos energéticos o *feedstocks* de maíz (*Zea mays L.*), sorgo (*Sorghum bicolor L.*), yuca (*Manihot esculenta C.*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), entre otros; el biodiésel se produce a partir de las oleaginosas como la

soja (*Glycine max* L.), aceite de palma (*Elaeis guineensis* J.), colza (*Brassica napus* L.), *Jatropha curca* L., etc., y el biogás se obtiene a partir de residuos orgánicos mediante procesos de digestión anaeróbica (Torres & Hernández, 2006). Tanto el bioetanol como el biodiesel se utilizan como reemplazantes de los combustibles líquidos nafta y diesel respectivamente, mientras que el biogás se presenta en la actualidad como una oportunidad para las zonas rurales, pues les garantiza un suministro de gas metano o electricidad descentralizada producida gracias a toda materia orgánica de alrededor.

Si bien los agrocombustibles pueden ofrecer una serie de ventajas como combustibles renovables, muchas señales de alerta están comenzando a surgir desde distintos ámbitos de la sociedad, la academia y los sectores productivos. Los impactos ambientales de los monocultivos, la competencia con la producción de alimentos y la “eficiencia energética” son algunos de los temas que se debaten en estos días en todo el mundo.

La industria, los gobiernos y los científicos que impulsan los agrocombustibles afirman que servirán como una alternativa al petróleo, al mitigar el cambio climático, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar los ingresos de los agricultores y promover el desarrollo rural (Altieri, 2009). Sin embargo, rigurosas investigaciones y análisis realizados por ecologistas y sociólogos, sugieren que los resultados del *boom* de la industria de agrocombustibles a gran escala serán desastrosos para los agricultores, el medioambiente, la preservación de la biodiversidad y la salud de los consumidores, particularmente los pobres (Pimentel, 2003; Bravo, 2008).

El auge de los agrocombustibles ha dado lugar al desarrollo de planes nacionales de agrocombustibles por parte de los gobiernos, lo cual permitirá una conversión rápida de tierras para la producción de monocultivos energéticos a gran escala, con cultivos transgénicos que dependen de herbicidas y fertilizantes (Altieri, 2009).

En los últimos años ha crecido la conciencia sobre el impacto ambiental, social y cultural de ciertas prácticas de la agricultura moderna mecanizada, lo que ha llevado a un replanteo del modelo agrícola vigente hacia uno más sustentable (Gliessman, 2001; Sarandón, 2002).

“Una Agricultura Sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan” (Sarandón & Flores, 2014). Una agricultura sustentable debe ser económicamente viable, socialmente aceptable,

suficientemente productiva, debe conservar la base de recursos naturales y preservar la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global (Sarandón & Sarandón, 1993).

La energía es un recurso imprescindible para la existencia y el manejo de los agroecosistemas. El modelo agrícola moderno, intensivo y altamente productivo, se basa en el uso de elevadas cantidades de insumos derivados del petróleo, en forma de aportes directos de combustibles e indirectos para la producción de agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y semillas (Gliessman, 2001). En algunos sistemas, la proporción de energía renovable representa sólo un 7 a 16% de la energía primaria total utilizada, mostrando la alta dependencia de energía no renovable de los modelos intensivos de agricultura (Grönross, 2006). La eficiencia energética, entendida como unidades de energía cosechada por cada unidad de energía suministrada, ha sido analizada en diversos sistemas de producción (Ozkan *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2004, Iermanó & Sarandón, 2009) mostrando, en muchos casos, valores cercanos a la unidad o aún menores. En cierto sentido, la agricultura moderna de altos insumos consiste en transformar la energía proveniente de los combustibles fósiles en alimentos o fibra. Energía que ha tardado millones de años en acumularse se está consumiendo a un ritmo excesivamente acelerado. La explotación petrolera es una actividad minera y no productiva y la posibilidad de mantener este ritmo de extracción por mucho tiempo, parece totalmente improbable. La idea de utilizar la propia agricultura para producir energía, mediante los denominados agrocombustibles, (principalmente el etanol y el biodiesel) aparece también como poco probable desde el punto de vista de la eficiencia energética, y, además, plantea una serie de problemas ecológicos de gran magnitud (Iermanó & Sarandón, 2009). El objetivo de este proyecto es analizar las potencialidades y limitaciones de la producción de agrocombustibles líquidos, bioetanol y biodiesel, en la Argentina, desde una óptica holística y sistémica y bajo la perspectiva de una agricultura sustentable. Se enumerarán y analizarán tanto sus potenciales ventajas como sus probables impactos económicos, sociales y ambientales.

La hipótesis planteada es: “Teniendo en cuenta el enfoque agroecológico los agrocombustibles no representan una solución a la crisis energética y ambiental actual”

Se buscará responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Es viable la producción de agrocombustibles líquidos a gran escala?

2. ¿El uso de los agrocombustibles es una fuente de energía renovable capaz de sustituir a los combustibles fósiles?
3. ¿Es la producción de agrocombustibles sostenible a largo plazo?

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizará una revisión sistemática de bibliografía basada en documentos, libros, tesis y artículos de relevancia científica, tomando en cuenta los diferentes objetivos que se pueden presentar del tema para poder obtener y analizar una visión global del mismo. Se recopilará información sobre el tema, se analizará y se establecerá una relación entre las fuentes y se comparará entre ellas para poder analizar críticamente la información recopilada sobre el tema en cuestión y, así, responder a las preguntas inicialmente propuestas.

Se buscará material en internet a través de motores de búsqueda como Google, Google Académico, SEDICI (Servicio de Difusión de la Creación Intelectual), utilizando palabras claves como Energías Alternativas, Agroecología, Agrocombustibles y Sustentabilidad, con la posibilidad de ampliar los resultados utilizando los términos en inglés, se recopilará información que pueda proporcionar el Director del proyecto y se buscará información en la Biblioteca Conjunta de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales y Facultad de Ciencias Veterinarias.

También se analizarán referencias bibliográficas del material seleccionado con el fin de rescatar otros estudios potencialmente importantes para la revisión.

Se definirá un marco conceptual de la sustentabilidad aceptando como definición de agricultura sustentable a aquella que “permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan” (Sarandón et al., 2006b) De esta definición deducimos que “un sistema será sustentable si es económicamente viable, ecológicamente adecuado y cultural y socialmente aceptable”..

Es importante advertir que en la presente revisión se utilizará el término “agrocombustibles” en lugar del término más usual de “biocombustibles”, para subrayar que la actual generación combustible producida a partir de materia prima vegetal, se basa fundamentalmente en cultivos agrícolas producidos a gran escala. Se cuestiona la denominación genérica inicial de biocombustibles, que asume un impacto positivo en términos ambientales, por ser energía con origen en la biomasa, y se considera que la denominación Agrocombustible, es más clara, pues muestra su estrecha relación con la producción agropecuaria. El prefijo “bio” se aplica a productos obtenidos por métodos de



producción ecológica, sin embargo, los combustibles de origen agrícola producidos a gran escala, con todos los impactos ambientales y sociales que conllevan, no cumplen estos requisitos.

Una vez recopilada la información se ordenará de la siguiente manera: Capítulo 1: “La agricultura y la energía” se iniciará con la relación entre la energía y la agricultura y la implicancia de la misma en la sustentabilidad de los sistemas agrícolas; Capítulo 2: “La energía en el planeta” se continuará con la explicación de las necesidades de energía en el planeta y sus principales fuentes y alternativas; se definirá y describirá a los agrocombustibles y el rol que cumplen dentro de la matriz energética actual; Capítulo 3: “Agrocombustibles” se realizará un análisis de los agrocombustibles líquidos (bioetanol y biodiesel), en Argentina y se enumerarán tanto sus potenciales ventajas como sus probables impactos dentro de las diferentes dimensiones que contempla una agricultura sustentable, las cuales son dimensión ecológica, dimensión socioeconómica y dimensión cultural enmarcadas dentro del factor tiempo y Capítulo 4: “Conclusiones” se elaborará una conclusión personal en base a lo investigado y se tratará de reafirmar o rechazar la hipótesis planteada y de dar respuesta a las preguntas presentadas en la introducción del proyecto.

## **CAPITULO 1: AGRICULTURA Y ENERGIA**

### **Agricultura sustentable**

La agricultura es una de las actividades económicas, sociales y ambientales más esenciales para el ser humano. Como es conocido por todos, en primer lugar, la agricultura nos provee de bienes naturales en forma de alimento, o de materias primas para la industria, pero no sólo cumple estas funciones primarias. Las actividades agrícolas, además, tienen consecuencias ambientales, pues construyen el paisaje y pueden aportar ventajas medioambientales en la conservación del suelo, preservando la biodiversidad y realizando una gestión sostenible de los recursos naturales. Asimismo, supone unas de las actividades principales para el desarrollo económico de las naciones, ya que fomentan el desarrollo económico y social de numerosas poblaciones. El estudio de la agricultura ha sido siempre de particular interés para la humanidad, desde las comunidades humanas, que hace 10.000 años establecieron los primeros cultivos e iniciaron asentamientos permanentes, hasta el siglo XXI, en que la globalización es cada vez mayor, entender el funcionamiento de los sistemas agrícolas ha sido un objetivo prioritario para nuestras sociedades.

En la actualidad, la agricultura moderna está basada en el modelo de la Revolución Verde, este término fue utilizado en 1968 por William Gaud para referirse al incremento sorprendente y repentino de la producción de granos que ocurrió en varios países en vías de desarrollo a mediados de los años '60. Este movimiento consideró que el problema del hambre en algunas regiones del planeta, se debía a la baja productividad de los cultivos y ésta, a la inadecuada elección de los cultivares que se utilizaban, ya que no soportaban altas dosis de fertilizante. Por lo tanto, según este diagnóstico, la solución era cambiar el genotipo o tipo de cultivares. Esto significó un cambio sustancial del paradigma agrícola imperante hasta el momento: la disponibilidad y el uso de numerosas variedades (ecotipos, razas locales) adaptadas a la variabilidad natural de los agroecosistemas, se sustituyó por algunas pocas variedades de alto potencial de rendimiento, las cuales brindaban una promesa teórica de alto rendimiento, en tanto y en cuanto el ambiente se adaptara a sus requerimientos (Sarandón & Flores, 2014). Este intento por brindarles el ambiente adecuado a las nuevas variedades implicó que, paulatinamente, se incorporaran masivamente a los agroecosistemas, grandes cantidades de insumos agrícolas.

La agricultura moderna, basada en el paradigma de la Revolución Verde, el símbolo de la intensificación agrícola, no solo falló en asegurar una producción de alimentos abundante y segura para todas las personas, sino que fue instaurada bajo la suposición de que siempre habría abundantes recursos naturales y que el clima no cambiaría (Altieri & Nicholls, 2012). Los agroquímicos, la mecanización y las operaciones de irrigación que son el centro de la agricultura industrial, son altamente dependientes de combustibles fósiles cada vez más caros y escasos. Las condiciones climáticas extremas se están haciendo más comunes y más violentas, amenazando los cultivos, especialmente los monocultivos modernos genéticamente homogéneos que cubren el 80% de las 1.600 millones de hectáreas de tierra cultivable (FAO, 2015). Además, la agricultura industrial, contribuye con cerca del 13% de las emisiones de gases efecto invernadero, modificando tendencias climáticas y comprometiendo así la capacidad del mundo para producir alimento en el futuro. Es cierto que la tecnificación de la agricultura ha incrementado, a través de un mayor rendimiento (por unidad de área) de los cultivos, la producción de alimentos en el mundo, pero no es menos cierto también, que esto ha estado basado en el uso de dosis masivas de insumos costosos y/o escasos: combustibles fósiles, plaguicidas, fertilizantes, semillas híbridas, maquinarias, agua para riego, etc. (Sarandón & Flores, 2014). Debido a que el manejo de los sistemas agropecuarios altamente tecnificados se basa en: la utilización en forma ineficiente de energía proveniente principalmente de fuentes no renovables (combustibles fósiles), prácticas de uso intensivo del suelo (con deterioro de sus propiedades productivas), agotamiento de un recurso vital como el agua, la aplicación creciente de plaguicidas peligrosos y cada vez menos eficientes y el uso de un número limitado de variedades mejoradas de cultivos (cuya base genética está agotándose), esta agricultura no puede considerarse sustentable por mucho tiempo.

No hay duda de que la humanidad necesita un paradigma alternativo de desarrollo agrícola, uno que fomente una agricultura biodiversa, resiliente, sostenible y socialmente justa. En este sentido, el concepto de agricultura sustentable es una respuesta a la declinación de la calidad de la base de los recursos naturales asociada con la agricultura moderna (Altieri, 2002). Existen muchas definiciones de agricultura sustentable, en este trabajo se considera la siguiente:

*“Una Agricultura Sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la*

*población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan” (Sarandón et al., 2006).*

Para cumplir con la sustentabilidad y satisfacer las necesidades de las actuales y futuras generaciones, el estilo de agricultura debe poder mantenerse en el tiempo. Para ello deben cumplirse una serie de requisitos, la falta de cumplimiento de los mismos pone en duda, en el corto o largo plazo, la sustentabilidad. Esta agricultura debería ser: *Suficientemente productiva* (dependiendo del nivel de análisis); *Económicamente viable* (a largo plazo y contabilizando todos los costos); *Ecológicamente adecuada* (que conserve la base de recursos naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global) y *Cultural y socialmente aceptable*. La sustentabilidad es un concepto multidimensional y complejo que incluye el cumplimiento simultáneo de varios objetivos o dimensiones: productivo, ecológico, temporal, económico y sociocultural. Estos objetivos son igualmente importantes, de cumplimiento simultáneo, y no son reemplazables los unos con los otros.

La agricultura actual se ha basado en un modelo de producción productivista, cortoplacista y reduccionista, en donde el rendimiento de unos pocos cultivos es sinónimo indiscutido de “éxito” y donde se considera que la suma de las partes es lo mismo que el todo, donde se prioriza el conocimiento de los componentes del agroecosistema por encima de las interacciones entre ellos y donde el objetivo principal es obtener un alto rendimiento de unos pocos cultivos a corto plazo. Estas son solo algunas de las causas de la insustentabilidad del modelo actual de producción agropecuaria. Actualmente se reconoce que el paradigma de la Revolución Verde está agotado y superado desde hace tiempo y que no se tuvieron en cuenta las externalidades ambientales negativas generadas por el uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos para controlar plagas y enfermedades (IICA, 2012).

Es necesario entonces, un nuevo paradigma, entendiendo por este concepto un conjunto de valores y saberes compartidos colectivamente, es decir, usados, implícita o explícitamente, por una comunidad; que intente dar soluciones novedosas partiendo de la consideración de las interacciones de todos los componentes físicos, biológicos, económicos y socioculturales de los sistemas agropecuarios integrando este conocimiento en el ámbito regional para una producción sustentable. Este nuevo enfoque es la Agroecología, que ha sido definida como el desarrollo y aplicación de la teoría ecológica

para el manejo de los sistemas agrícolas, de acuerdo a la disponibilidad de recursos (Altieri, 1987).

La agroecología emerge como un enfoque que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que, además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables. En lugar de centrar su atención en algún componente particular del agroecosistema, la agroecología enfatiza las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos (Vandermeer, 1995). Los agroecosistemas, tal como los definiera Odum (1984), son un tipo especial de ecosistema, intermedios entre los ecosistemas naturales y los ecosistemas urbanos como las ciudades, totalmente contruidos por el ser humano. Los agroecosistemas tienen, tal vez, mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema, debido a que ellos nos proveen de comida y fibras y tienen grandes impactos sobre la calidad del ambiente.

La agroecología es el estudio holístico de los agroecosistemas, incluidos todos los elementos ambientales y humanos. Centra su atención sobre la forma, la dinámica y función de sus interrelaciones y los procesos en el cual están envueltas (Altieri, 2001).

La Agroecología promueve un manejo de los agroecosistemas que tengan en cuenta las siguientes características (Sarandón, 2002):

- Una producción eficiente y rentable a largo plazo (considerando el costo ecológico) que promueva la conservación de suelos, agua, energía y recursos biológicos (como la biodiversidad).
- Una disminución del riesgo debido a fluctuaciones ambientales (bióticas y abióticas) o de mercado. Lograr una mayor estabilidad y resiliencia en el tiempo.
- Un uso o degradación de los recursos naturales renovables a un ritmo menor o igual a su tasa de reposición.
- **Un uso o explotación de los recursos no renovables a un ritmo menor o igual al de la tasa de desarrollo de tecnologías alternativas.**
- Una emisión de residuos similares o menor a la capacidad de asimilación del ambiente.
- Un aumento en la biodiversidad funcional de los sistemas productivos.
- **Una menor dependencia del uso de insumos externos (combustibles fósiles, plaguicidas, fertilizantes sintéticos, etc.).**

- **Un uso más eficiente de la energía (principalmente fósil).**
- Un mayor aprovechamiento de procesos naturales en la producción agrícola (reciclaje de materia orgánica y nutriente, fijación de nitrógeno, alelopatía y relación predador-presa).
- Una eliminación o disminución del daño al ambiente, a otras especies, y/o a la salud de agricultores y consumidores.
- Un ajuste de los sistemas de cultivo a la productividad potencial y a las limitantes físicas, económicas y socioculturales de los agroecosistemas.
- Un desarrollo de tecnologías que sean cultural y socialmente aceptables.

Convertir un agroecosistema a un diseño más sostenible es un proceso complejo. No es simplemente la adopción de una práctica o tecnología nueva. No hay soluciones mágicas. Los sistemas de producción fundados en principios agroecológicos son biodiversos, resilientes, eficientes energéticamente, socialmente justos y constituyen la base de una estrategia energética y productiva fuertemente vinculada a la soberanía alimentaria (Altieri, 1995, Gliessman, 1998).

### **Agricultura y energía**

La energía se define como la capacidad de realizar trabajo. Es un flujo unidireccional gobernado por la primera y segunda ley de la termodinámica. La *primera ley*, también llamada ley de la conservación de la energía, establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma y La *segunda ley*, o principio de la entropía, establece que cuando la energía es transferida o transformada, parte de ella es convertida en calor, una forma no disponible para realizar un trabajo; en cada transferencia o transformación de energía, una parte de la misma se convierte en calor, forma bajo la cual la energía no puede impulsar procesos vitales en el ecosistema.

La energía es el soporte fundamental para la vida en el planeta, en general, y para la actividad agropecuaria, en particular.

Básicamente, la función de los ecosistemas naturales y de los agroecosistemas es captar y transformar energía solar. La energía fluye a través del ecosistema natural como resultado de un complejo conjunto de interacciones tróficas, con ciertas cantidades disipadas en diferentes estadios a lo largo de la cadena alimenticia, y con la cantidad más grande de energía moviéndose finalmente por la ruta de los desechos (Odum, 1971). La energía solar es convertida en materia por los productores mediante el proceso de

fotosíntesis (Gliessman, 2001). Así, la biomasa tiene almacenada en sus enlaces químicos la energía que aporta el sol, parte de esa energía almacenada es usada por los productores para su metabolismo, y el resto pasa a otros organismos del siguiente nivel trófico, que también experimentan pérdidas de energía para respirar, crecer, formar nuevos tejidos, reproducirse. Así, la energía fluye por el ecosistema a través de los sucesivos eslabones de la cadena trófica, con pérdidas de energía en cada uno de ellos, por lo que la energía disponible en cada eslabón es cada vez menor. El porcentaje de energía que se trasfiere de un nivel trófico a otro, varía solamente entre 5 y 20 %, dependiendo de los tipos de especies involucradas y del tipo de ecosistema (Flores & Sarandón, 2014). Por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de eslabones, más grande es la pérdida de energía acumulativa, siendo también mayor el número de individuos necesarios para alimentar a las especies que componen los últimos niveles tróficos. Mientras más corta es la cadena, mayor será la disponibilidad de energía alimenticia. Este conocimiento resulta esencial a la hora de discutir la posibilidad de alimentar a esta y a las futuras generaciones: teniendo en cuenta la pérdida de energía que se produce al atravesar los sucesivos niveles tróficos, si el hombre se comportara como consumidor primario en lugar de como consumidor secundario, se podrían alimentar a 10 veces más personas con una superficie determinada de, por ejemplo, maíz (Sarandón & Flores, 2014).

En los Ecosistemas Naturales, la energía aportada por el sol es suficiente, en general, para mantener la estructura y complejidad de procesos que ocurren en el mismo. La energía deja el sistema principalmente en forma de calor, generado por la respiración de los organismos constituyentes de los distintos niveles tróficos, esta pérdida de energía es usualmente equilibrada por la entrada generada por la captación de energía por parte de los productores.

La estrategia agrícola moderna puede considerarse como un retroceso de la secuencia sucesiva de la naturaleza. El termino sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que experimenta un sistema a través del tiempo. Según Odum (1972) la sucesión ecológica se caracteriza por: ser un proceso ordenado y bastante predecible de desarrollo de la comunidad, que comprende cambios en su estructura; resulta de la modificación del medio físico por la misma comunidad, aunque el medio físico condiciona el tipo y velocidad del cambio; y culmina con un ecosistema estabilizado en el que se mantiene la máxima biomasa por unidad de energía y el óptimo de relaciones simbióticas

entre organismos. La agricultura modifica los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas, la perturbación que necesariamente se realiza para este fin determina el inicio de un proceso de sucesión, es decir, empieza un proceso de recuperación a lo largo del cual progresa desde comunidades inmaduras, inestables y rápidamente cambiantes, a comunidades más maduras y estables (estado de equilibrio o clímax).

Una de las principales características del proceso de sucesión son los cambios que se suceden en la energía del ecosistema. En las primeras etapas de sucesión predominan el fenómeno de fotosíntesis (productividad primaria bruta o PPB) por sobre la respiración (R), lo que genera un aumento de la productividad neta de la comunidad, entendida como la diferencia entre fotosíntesis y respiración tanto de los autótrofos como heterótrofos del sistema ( $PNC = PPB - R$ ), esto es lo que permite extraer biomasa en productos de cosecha. El objetivo de la agricultura es manipular los flujos de energía con el propósito de obtener una cierta productividad neta (PNC) que pueda ser extraída como producto, y para ello se deben contrarrestar la tendencia natural del sistema de dirigirse hacia un estado de equilibrio o clímax, en donde la productividad neta de la comunidad es igual a cero, debido a que la R predomina sobre la PPB; por lo que para contrarrestar esta tendencia será necesario la aplicación de energía por parte del hombre. Según Cox (1984) la reinversión de energía en el funcionamiento del sistema, que se efectúa en los ecosistemas maduros, debe ser reemplazada en los agroecosistemas por la economía humana la que, a través de labores e insumos (energía), restituye estas propiedades de los ecosistemas.

Estos ecosistemas modernos, a pesar de su alto rendimiento, llevan consigo las desventajas de todos los ecosistemas inmaduros, particularmente estos sistemas carecen de la capacidad para ciclar los nutrientes, conservar el suelo y regular las poblaciones de plagas, el funcionamiento del sistema depende, de este modo, de la continua intervención humana. El flujo de energía en los agroecosistemas se altera enormemente por la interferencia humana (Pimentel & Pimentel, 1997), debido a que estos sistemas modernos necesitan grandes aportes de energía externa para realizar el trabajo, generalmente efectuado por los procesos ecológicos en sistemas menos perturbados.

El aporte de energía externa varía con el tipo de actividad y el grado de intensificación de la misma. Aunque obviamente la radiación solar es la mayor fuente de energía, muchos



insumos se derivan de fuentes de manufactura humana que frecuentemente no son autosostenibles.

### **Flujos de energía en los agroecosistemas**

El funcionamiento de los agroecosistemas actuales se basa en dos flujos energéticos: el ecológico que corresponde a la energía solar y un flujo cultural, controlado directamente por el agricultor que a su vez puede ser dividido en aportes biológicos e industriales. Los aportes biológicos provienen directamente de fuentes biológicas que estén bajo el control humano, incluye el trabajo humano, el trabajo animal y cualquier actividad o subproducto biológico controlado por los seres humanos (estiércoles, "compost", semilla producida localmente, etc.). Los aportes industriales de energía son aquellos principalmente derivados de los combustibles fósiles, ya sea aportes directos (combustibles o electricidad) y o indirectos, a través de los insumos industriales que emplea en el proceso productivo como *energía asociada* a la producción de los diferentes insumos agrícolas calculada a partir de los valores de energía requeridos para la manufactura de los distintos productos. Se denomina asociada porque no está contenida en el producto sino asociada a éste. Estos aportes han adquirido importancia notable a partir de la mecanización de la agricultura (Sarandón & Flores, 2014). En el agroecosistemas los ingresos de energía provienen de la energía solar y de los aportes culturales, estos últimos representan en la agricultura moderna un alto porcentaje de los aportes totales y a su vez provienen, la mayor parte, de energía fósil y finita; esta energía fluye a través de los distintos componentes del sistema y abandona el mismo en forma de calor (en cada transformación de energía hay pérdidas de calor), a través de los desechos y del producto cosechado (Figura N° 1).

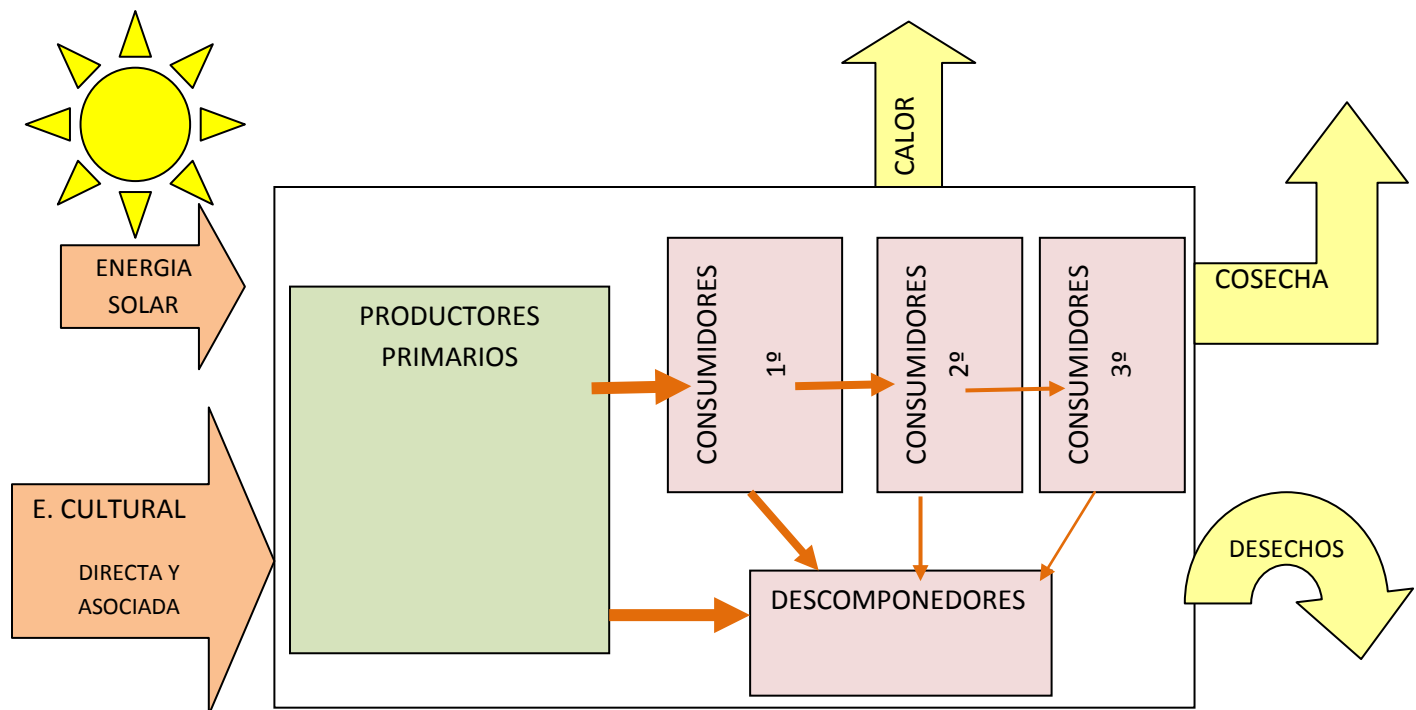


Figura N°1: *Flujos de energía en el agroecosistema.*

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, es importante analizar la eficiencia con que se utiliza la energía industrial para la conversión de energía solar en biomasa (Gliessman, 2001). Esto es así, debido a que la intensificación de la producción agrícola de las últimas décadas, ha significado la necesidad de incorporar cantidades mayores de energía principalmente fósil, para aumentar el rendimiento; esta energía que ha tardado millones de años en acumularse se está consumiendo a un ritmo excesivamente acelerado y su agotamiento está cada vez más cerca. Se debe tener en cuenta que la explotación petrolera es una actividad minera y no productiva que representa más del 40% del consumo mundial de energía, por lo que la posibilidad de mantener este ritmo de extracción por mucho tiempo, parece totalmente improbable. Este hecho cuestiona la posibilidad de sustentar este tipo de sistemas agrícolas, ya que el uso ineficiente de altas cantidades de energía se contrapone con el objetivo de mantener la base de los recursos naturales no renovables, y convierte a los sistemas agrícolas en sistemas dependientes de recursos que, sin dudas, se agotarán en un futuro relativamente inmediato.

Este análisis de los flujos y la eficiencia energética de los agroecosistemas fue promovido y desarrollado, entre otros, por David Pimentel, investigador de la Universidad de Cornell,

EE.UU. En sus estudios, claramente queda expuesta la baja eficiencia en el uso de la energía de los sistemas altamente industrializados, enmascarada, a veces, por el bajo costo de los combustibles fósiles y por su alta productividad.

Para medir esta forma de uso de la energía pueden relacionarse los flujos de entrada y salida de energía del agroecosistema calculando, de esta manera, la *eficiencia energética* de una producción determinada. Para ello, es necesario cuantificar, como Energía Ingresada (EI), los aportes directos e indirectos de energía cultural (a través de los valores de energía asociada). La salida de energía (ES) del sistema se calcula, en función del contenido energético del producto cosechado; este depende de su composición química: fundamentalmente proporción de grasas, proteínas e hidratos de carbono, multiplicando dicho contenido energético por la cantidad de producto cosechado. La relación entre la energía salida (ES) y la energía ingresada (EI) de un sistema es la eficiencia energética ( $E = ES/EI$ ) de ese sistema ( $E = ES/EI$ ). Es decir, las unidades de energía que se obtienen por cada unidad de energía que se agrega al sistema. A mayor valor, mayor eficiencia. En general, cuanto mayor es el aporte de energía externa, mayor es la productividad de los sistemas agrícolas, sin embargo, cuando el aporte de energía cultural es muy alto, la eficiencia energética de los sistemas disminuye.

La eficiencia energética, ha sido analizada en diversos sistemas de producción (Ozkan *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2004; Iermanó & Sarandón, 2009) mostrando, en muchos casos, valores cercanos a la unidad o aún menores. Según Grönross (2006) en algunos de estos sistemas, la proporción de energía renovable representa solo un 7 a 16% de la energía primaria total utilizada, mostrando la alta dependencia de energía no renovable de los modelos intensivos de agricultura. Pimentel *et al.* (1990) señalan que la producción orgánica de maíz y trigo, sin uso de fertilizantes sintéticos, fue un 26 a 70% más eficiente que la convencional. Por otra parte, Bayliss-Smith (1982), analizando diferentes sistemas agrícolas encontró que esta eficiencia puede ir desde 40 unidades de energía obtenidas por unidad suministrada en sistemas primitivos de cultivos, hasta sólo 1 o 2 en sistemas de agricultura industrializada.

La agricultura convencional está usando más energía para producir alimentos que la energía que los mismos contienen, con el agravante de que la energía utilizada proviene de un recurso no renovable y, por lo tanto, finito. Pimentel *et al.* (2004) señalan que, en los EE.UU., por cada Kcal de alimento se necesita gastar 13 Kcal de energía fósil.

Además de esto, la alta dependencia de combustibles fósiles se relaciona, sin dudas, con todos los problemas ecológicos y sociales que son fuente de insustentabilidad de los sistemas agrícolas.

## **CAPITULO 2: LA ENERGÍA EN EL MUNDO**

### **La Energía**

La energía desempeña un rol sumamente importante en el desarrollo humano, económico y en el bienestar de las sociedades, ya que es el motor de todas las actividades que realiza el hombre. Sin energía no habría vida ni desarrollo. La fuente principal de energía se encuentra en el sol, el resto se encuentra en la atmósfera, sobre la superficie terrestre o en el interior del planeta. Esta energía puede ser renovable o no renovable, dentro de esta última, encontramos a los combustibles fósiles, tales como: el petróleo, carbón mineral y el gas natural, los cuales son recursos escasos y limitados. A lo largo de la historia, la humanidad ha utilizado una gran variedad de recursos energéticos, quizás el momento más decisivo fue el descubrimiento del fuego, ya que, gracias a él, se comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta el momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde allí, la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas en todas las formas de organización social (Castro, *et al.*, 2012).

A través de los años el sistema energético mundial ha pasado por dos transiciones energéticas importantes: la primera de ellas determinó la conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo mecánico, gracias al descubrimiento y uso de la máquina de vapor y la segunda se caracterizó por el descubrimiento de la electricidad y del perfeccionamiento del motor de combustión interna. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como la fuente energética primaria que cubriría las necesidades cada vez mayores de combustibles para gran parte de las actividades realizadas por los hombres. Hoy en día vivimos en una época de constantes cambios, de generar y construir un sinnúmero de herramientas y desarrollos tecnológicos con el fin de tener una mejor calidad de vida. Por lo tanto, cada vez es mayor la cantidad de recursos energéticos que utilizamos y, por ende, existe un uso desmedido de las materias primas que nos proporcionan energía, como lo es principalmente el petróleo. La energía es esencial para el desarrollo económico y social y el mejoramiento de la calidad de la vida. Sin embargo, la mayor parte de la energía del mundo se produce y consume en formas que no podrían perdurar si la tecnología permaneciera constante o si las magnitudes globales aumentaran notablemente (ONU, 2011).

Por otro lado, es importante mencionar que la actual era del petróleo que vivimos, ha ocasionado numerosas problemas sociales, económicos y políticos, tales como: división entre países vendedores y compradores, vulnerabilidad respecto a las fluctuaciones de los precios en el mercado petrolero internacional y finalmente los problemas hacia el ambiente y la salud humana, generando emisiones masivas de gases tóxicos (CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafloruro de azufre) a la atmósfera, ocasionando un cambio climático al planeta (Castro *et al.*, 2012).

### **Consumo de energía mundial**

El consumo mundial de energía es la cantidad total de energía utilizada por todos los humanos en el planeta (medida por año), esta medida es la suma de todas las fuentes de energía (y propósitos) en uso. Varias organizaciones publican estos datos, incluida la Agencia Internacional de Energía (IEA), la Administración de Información de Energía de EE. UU. (EIA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente. Esta información es útil porque la evaluación de la misma sirve para descubrir tendencias que podría generar problemas de energía que actualmente no se abordan, lo que fomenta la búsqueda de soluciones. Al año se emplean más de 500 millones de terajulios de energía, el consumo de energía aumenta cada año y se estima que para el 2035, el consumo haya incrementado en un 35%. Algunos pronósticos aseveran que el uso de la energía en el mundo crecerá 1,4 % por año en la próxima década, con un crecimiento del 0,6% en algunos países desarrollados y en países en desarrollo del 2,3% (OCDE, 2006). Según este panorama, los últimos, antes de 2050, habrán duplicado la demanda de energía de los primeros. De acuerdo a estudios de la CEPAL (2007), ello derivará en una compleja situación socioeconómica y política internacional, dado el carácter no renovable de los combustibles fósiles y las perspectivas de agotamiento de las reservas en el mediano plazo, junto al crecimiento permanente y sostenido de la demanda.

La variedad de fuentes de energía que son utilizadas para abastecer las necesidades y la forma de aprovechamiento en que se basa el consumo energético, integran la matriz energética. En la actualidad, está compuesta por un porcentaje muy alto, más del 80 %, de recursos no renovables (combustibles fósiles) y un 14 % de energía alternativas, nuclear, hidroeléctrica y renovables (Figura N°2). Solo un 2% o 3% de la energía consumida proviene de fuentes de energía denominadas “renovables” (aunque no sean estrictamente renovables); dentro de las cuales encontramos la solar, eólica, geotérmica,

y biomasa. La producción de energía renovable está aumentando y se espera que para el año 2030 el consumo de energía limpia incremente del 3% al 6% (Statistical Review of World Energy, 2016).

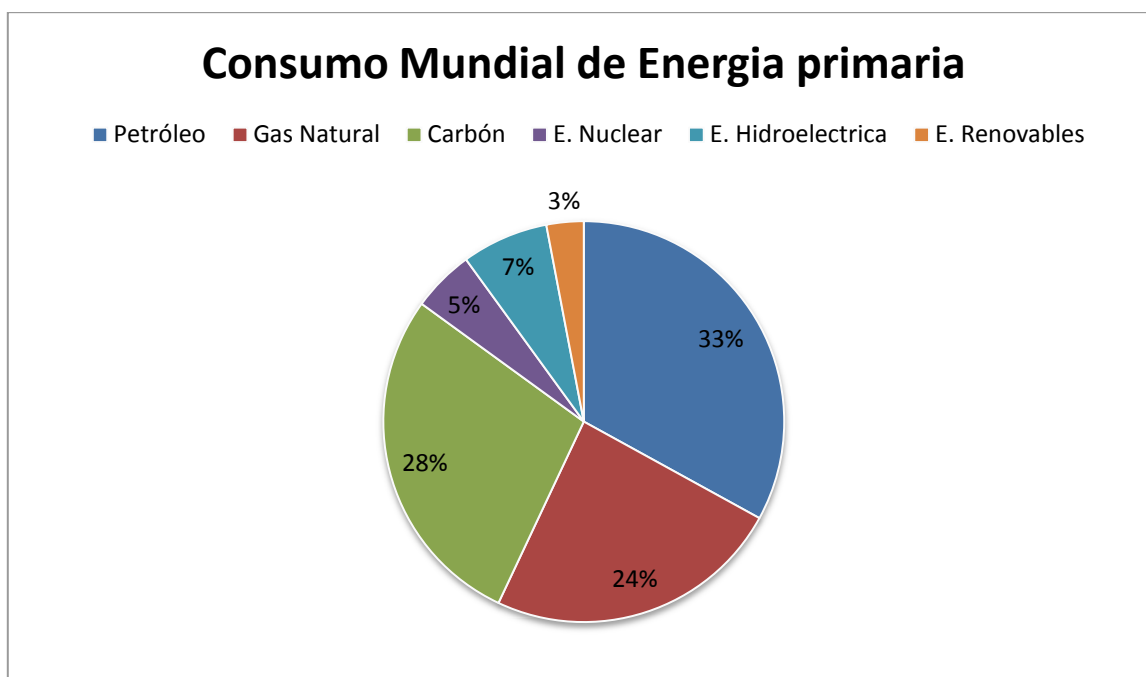


Figura N°2: *Consumo mundial de energía primaria por tipo de energía para el año 2017 (BP Statistical Review of World Energy 2017).*

### **Crisis energética**

Uno de los principales problemas que se presentan en la actualidad a nivel mundial y que determina la crisis energética es que los combustibles fósiles, no son sostenibles a la velocidad que se usan actualmente; Pimentel *et al.*, (1998) señalan, a partir de la información recabada en numerosas fuentes bibliográficas, que el abastecimiento mundial de petróleo se acabará, a las tasas actuales de producción, en aproximadamente 34 años a partir de 1998, es decir que para el 2032 las reservas de petróleo estarán agotadas. Señalan, sin embargo, que si la población continúa creciendo y la gente pretende tener un estándar de vida y una tasa de consumo de energía similar al estadounidense promedio, las reservas mundiales de petróleo se agotarán en apenas 15 años. Los Estados Unidos, con el 4% de la población mundial, consumen casi el 25% de la energía disponible en el planeta. A su vez, diversos investigadores, mencionan valores más “optimistas” y estiman

que el uso del petróleo está limitado a 40-50 años (Khanna *et al.*, 2011; Craig & Sehlke, 2012).

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió al desarrollo sustentable como: “el desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones, tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y ecológicos” si bien este concepto es cuestionable en varios aspectos fue conocido mundialmente en el informe “Nuestro Futuro Común”, publicado en 1987 con motivo de la preparación para la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil en 1992. El significado de esto implica un desarrollo basado en términos cuantitativos a un tipo cualitativo, estableciendo fuertes vinculaciones entre aspectos económicos, sociales y ambientales de manera equitativa, sin perjudicar alguno de ellos. La sustentabilidad energética es precisamente la producción y consumo de energía, de tal forma que soporte el desarrollo humano en sus tres dimensiones: social, económica y medio ambiental. Diversas organizaciones en el mundo han examinado la sustentabilidad del sistema energético actual y mantienen una opinión general: “hoy en día el sistema energético es insostenible” debido a la disponibilidad de recursos para hacer frente a la demanda de energía, el impacto ambiental ocasionado por los medios utilizados para su suministro y consumo, y la gran falta de equidad en el acceso a este elemento imprescindible para el desarrollo humano. (Castro, *et al.*, 2012).

Por todo lo anterior, surge la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, es decir, de visualizar una transición energética hacia otras formas de energía renovables, considerando aspectos ambientales, oportunidades económicas, el desarrollo científico y tecnológico, la industrialización de nuevas tecnologías, el aprovechamiento de recursos naturales y la seguridad energética.

### **Crisis ambiental**

Desde hace varias décadas se viene hablando del cambio climático que está experimentando nuestro planeta, así como de las causas que lo motivan y las consecuencias que conllevará si se mantiene la misma tendencia. Se puede entender como cambio climático la modificación ocurrida en el clima con respecto al historial



climático global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en su Artículo 1 establece que “por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”.

El efecto invernadero es un fenómeno natural, de la misma forma como existe un cambio natural de la temperatura promedio de la Tierra y, por lo tanto, de su clima. Sin embargo, el ser humano, sobre todo desde el siglo XVIII con la Revolución Industrial, ha producido una mayor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) con el uso de combustibles fósiles, provocando un peligroso aceleramiento del aumento de esta temperatura media, así como también, la contaminación en ríos, mares y lagos, dañando la fauna y vegetación. Se ha informado que el sector energético contribuye con aproximadamente el 80% de las emisiones de GEI en el mundo (AIE, 2010). De todos los gases de efecto invernadero, la emisión antropogénica del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el que más contribuye a este calentamiento global.

Recordemos que el Cambio Climático es componente de un fenómeno mayor conocido como crisis ambiental, y expresa la situación donde el propio crecimiento económico, junto al elevado nivel de desarrollo y estándar de vida alcanzado por la sociedad han creado problemas de carácter ecológico y ambientales de tan enorme magnitud que, por primera vez en la historia, la continuidad de la vida del ser humano en el planeta, así como el proceso de la vida del planeta mismo están en riesgo. Fundamentalmente, los grandes problemas que constituyen la crisis ambiental se refieren a la contaminación, la pérdida de la biodiversidad, el calentamiento global o cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales, la destrucción de la capa de ozono y la llamada explosión demográfica (Estenssoro, 2009).

La necesidad de reducir las emisiones no excluye el uso de combustibles fósiles, pero precisa un cambio significativo de dirección; la situación normal no es coherente con la disminución de las emisiones en los sistemas energéticos a nivel mundial. La eficiencia energética y las energías renovables a menudo se posicionan como las únicas soluciones para cumplir los objetivos del clima en el sistema energético, pero no son suficientes.

Se argumenta que el mundo desarrollado creó sus actuales economías en base a los combustibles fósiles y que sigue dependiendo mucho de ellos. El consumo de energía, incluyendo el transporte, es en la actualidad la principal fuente de emisiones de gases de

efecto invernadero y de contaminantes acidificante. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), la emisión de estos últimos contaminantes se ha reducido de un modo significativo gracias a la adopción de combustibles más limpios y al tratamiento de los gases de combustión. Pero, mientras no disminuya el protagonismo de los combustibles fósiles en la matriz energética, los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático parecen estar abocados a aumentar. Mayor eficiencia energética y un incremento del uso de las energías renovables son vistos como parte de la solución..

Resulta lógico, entonces, que desde hace más de dos décadas sea cada vez más relevante en la política mundial la discusión y esfuerzos por superar esta matriz energética fósil que caracteriza nuestro tiempo, particularmente la dependencia del petróleo. Hay conciencia sobre la necesidad de contar con fuentes energéticas “limpias” (no emisoras de GEI, particularmente CO<sub>2</sub>), así como “seguras” en cuanto a la disponibilidad de ellas. Sin embargo, el tema no es fácil, cuando entramos a analizar las posibilidades de su rápida y efectiva sustitución, encontramos serias dificultades.

### **Energías renovables**

Bajo la denominación de energías renovables, alternativas o blandas, se engloban una serie de fuentes energéticas que a veces no son nuevas, como la leña o las centrales hidroeléctricas, ni renovables en sentido estricto, y su impacto ambiental puede llegar a ser importante, como los embalses para usos hidroeléctricos o los monocultivos de agrocombustibles. Actualmente suministran un 14% del consumo mundial (las estadísticas no suelen reflejar su peso real), siendo su potencial enorme, aunque dificultades de todo orden han retrasado su desarrollo en el pasado. Con la excepción de la geotermia, la totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar; directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de la energía eólica, hidráulica y biomasa.

Por otra parte, si bien es cierto que el enorme desarrollo que están teniendo las nuevas energías renovables no convencionales (ERNC), como la mareomotriz, eólica, geotérmica, entre otras, éstas aún son poco competitivas y eficientes como para pensar en desplazar definitivamente a las energías fósiles.

El uso de toda fuente energética presenta tanto ventajas como desventajas, por lo que es importante tener en cuenta todos los factores que influyen en su utilización. A

continuación se presentan algunas de las características principales de las energías alternativas:

### *Energía hídrica*

La energía hídrica es la mayor fuente de energía renovable explotada por el hombre. Comparada con otras fuentes renovables, la hidroeléctrica se caracteriza por poseer mayor tradición tecnológica, factor de utilización y previsibilidad en la disponibilidad del recurso, no obstante, la magnitud del impacto de los grandes aprovechamientos, amerita que se evalúe la sustentabilidad de las mismas y proponer soluciones alternativas a futuro.

La instalación de centrales hidroeléctricas depende de la posibilidad de construir embalses o presas en los cauces de los ríos, para retener el agua, y transformar la energía hidráulica en energía eléctrica. La generación de energía eléctrica se produce al dejar caer el agua desde una cierta altura; esta agua mueve los álabes de una turbina que, a su vez, acciona un generador, produciendo electricidad. Posee dos ventajas principales respecto a los combustibles de origen fósil: una de ellas es que el agua no se consume ni empeora la calidad, únicamente es explotada; y otra de las ventajas es que no tiene problemas de producción de desechos. Sin embargo el agua no se reparte de manera uniforme por el territorio, además esta fuente se ve enfrentada al tema de las sequías y de variaciones en el nivel de los ríos y por tanto en el de generación de energía; otro punto a tener en cuenta es el del cambio producido en el ecosistema del lugar donde se construye el embalse; las hidroeléctricas, por ejemplo, causan severos daños a los ecosistemas donde son localizadas, pues matan peces y modifican los sistemas de los ríos, entre otras consecuencias (Richard Rhodes & Denis Beller, 2004).

### *Eólica*

La energía contenida en el viento puede ser transformada, según sea la necesidad, en energía eléctrica, mecánica o térmica. La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola en energía eléctrica o mecánica. Se pueden señalar dos tipos de aplicaciones: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua (común en los campos). Entre las instalaciones de producción de electricidad se pueden distinguir instalaciones aisladas, no conectadas a la red eléctrica e instalaciones conectadas, los denominados Parques Eólicos.

Entre las mayores ventajas de las energías eólicas están las de ser inagotables, no contaminantes y de libre acceso, y se pueden aprovechar en la medida de las necesidades del momento. En cambio, las mayores desventajas indican que se encuentra dispersa, es intermitente y aleatoria, no continua. La condición que se puede considerar normal en la mayor parte del planeta es que las características del viento no resulten suficientemente adecuadas para su utilización como fuente energética importante, salvo para aprovechamientos de pequeña potencia. No obstante, existen regiones donde las condiciones de ocurrencia del recurso energético son tales que resultan sumamente ventajosas para su aprovechamiento.

### *Geotérmica*

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales y agrícolas. Los buenos yacimientos geotermales son escasos, algunos países tienen grandes recursos de este tipo (Islandia y Filipinas) y son capaces de producir hasta un tercio de la demanda eléctrica de sus países con tan sólo el aprovechamiento geotérmico. Sin embargo existen una serie de desventajas que se pueden enumerar con respecto a esta energía, por un lado los proyectos geotermales son caros y requieren de una gran inversión, en algunos casos se exploran y perforan varios yacimientos hasta alcanzar el objetivo demandando mucho tiempo y dinero. Otro factor a considerar es que existen una multitud de gases de efecto invernadero bajo la superficie terrestre, y algunos de ellos pueden liberarse durante el aprovechamiento de la energía geotérmica y acabar en la atmósfera aumentando la contaminación.

### *Solar*

Se define a la energía solar, como aquella que mediante conversión a calor o a electricidad se aprovecha de la radiación proveniente del sol. Existen dos alternativas posibles para realizar estas transformaciones: a) la conversión fotovoltaica (Energía Solar Fotovoltaica) y b) la conversión fototérmica (Energía Solar Térmica). Si bien el aprovechamiento energético está condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida; y aunque existen diferencias regionales y estacionales significativas en la Argentina, se recibe una insolación importante y favorable para el uso de energía solar en todo el país.

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de Kwh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable, es una fuente de energía

descentralizada, limpia e inagotable. El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas del lugar.

### *Nuclear*

Igualmente, existe la alternativa de la energía nuclear, que es particularmente significativa en el contexto del cambio climático, ya que no son pocos los especialistas que consideran que es la única alternativa realista para reemplazar a los combustibles fósiles y/o hacer la transición desde la actual dependencia del petróleo hasta llegar a matrices energéticas inocuas en materia de GEI. Sin embargo, esta fuente energética enfrenta serias críticas, ya que el combustible del que se alimenta es extraordinariamente radioactivo y perdurable en el tiempo.

Una de las principales argumentos para su aplicación es que el uso de energía nuclear disminuye las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero emitidos como residuo del uso de combustibles fósiles, por lo que contribuye a la lucha contra el calentamiento global (Castejón, 2004) . Si bien se menciona que esta energía produce escaso CO<sub>2</sub>, para evaluar adecuadamente las emisiones del sector nuclear hay que tener en cuenta cada uno de los pasos del ciclo nuclear. Otra gran ventaja enunciada de las plantas nucleares, es que pueden producir enormes cantidades de energía con un pequeño volumen de combustible. Sin embargo la energía nuclear representa peligros y amenazas tanto para el medio ambiente como para las personas, siendo además excesivamente costosa, si se tienen en cuenta las externalidades ambientales. El debate sobre el uso de la energía nuclear gira en torno a su alta inseguridad con respecto al medio ambiente por la radiación y los desechos radiactivos de alta actividad (Castejón, 2004), así como a los posibles daños a la salud. La energía nuclear se caracteriza por producir, además de una gran cantidad de energía eléctrica, residuos nucleares que hay que almacenar en depósitos aislados y controlados durante largo tiempo, aunque es aceptado que no existe un lugar y modo fiable de almacenarlos en alguna parte del mundo. Los residuos nucleares son peligrosos por miles de años, nos afectan a nosotros, pero también a las miles de generaciones que vendrán posteriormente.

Otro punto a tener en cuenta es el insumo principal de esta energía, el uranio. Debido a la característica de no renovable del recurso, se estima que dentro de poco tiempo, el uranio existente será muy difícil y caro de extraer o incluso inservible para la generación de energía. El uranio es un elemento natural que se extrae en la tierra, lo que posiciona a la

energía nuclear como una alternativa dependiente y no sustentable, pues el uranio no es un recurso ilimitado. A su vez, la minería de uranio, es de enormes impactos ambientales y sociales, en particular para las comunidades aledañas, como para quienes deben trabajar en las minas, expuestos permanentemente al mineral radioactivo.

### *Mareas*

El mar es un almacén enorme de energía, es fuente de energía que no depende del sol, sino de la luna. En la actualidad esta energía se puede utilizar aprovechando las mareas, las corrientes oceánicas, las olas, el gradiente térmico de los océanos o la biomasa marina (con la obtención de gases combustibles a partir de ciertas algas marinas). En general, estas diferentes técnicas de aprovechamiento de la energía del mar se encuentran en fase precomercial o de I+D (Investigación y Desarrollo). Entre sus desventajas habría que considerar los eventuales impactos en el medio marino o costero. El principal problema para usar la energía mareomotriz como suministradora de energía eléctrica es la diferencia entre los ciclos naturales de las mareas y la variación diaria de la demanda energética. No obstante, la cantidad global de energía de las mareas es suficientemente elevada como para incitar a amplios programas para desarrollar técnicas adecuadas para los grandes proyectos mareomotrices. Además, la elevada vida útil de estas centrales (75 años o más) y un nulo costo de combustible fósil, convierten a este tipo de energía renovable en una apuesta bastante atractiva. Los efectos de plantas mareomotrices en el medioambiente todavía no están muy claros. Todo lo que sabemos es que estas centrales producen energía limpia, pero no sabemos si estamos pagando algún tipo de precio para el futuro. Si las comparamos con las presas hidroeléctricas, las centrales mareomotrices, podrían tener efectos parecidos en hábitats marinos.

Al ser unas tecnologías nuevas resultan menos competitivas que otras establecidas y potenciadas desde hace más tiempo, y la energía resultante es significativamente más cara que la obtenida con centrales nucleares, térmicas, u otras fuentes de energía renovables.

Hasta aquí las energías mencionadas, poseen ciertas ventajas y desventajas, pero a diferencia de los agrocombustibles, ninguna se presenta como alternativa a sustituir los **combustibles líquidos** que se utilizan en la actualidad, en forma de combustibles fósiles, en el transporte y demás actividades humanas, es decir, la mayoría de las fuentes alternativas de energía producen energía eléctrica y en forma calor pero no como fuentes de energía capaces de reemplazar un combustible líquido. En este aspecto es donde los

agrocombustibles tienen una gran ventaja con respecto a las demás, y aparecen como una alternativa, sino la única, capaz de reemplazar a los combustibles fósiles. Los agrocombustibles son una alternativa más en vistas a buscar fuentes de energías sustitutivas a las energías de mayor consumo actual, sin embargo es considerada por varios autores, como una de las fuentes alternativas de energía con mayor potencial en la actualidad, principalmente porque se considera que los agrocombustibles pueden reemplazar parcial o totalmente a los combustibles fósiles.

### **Los Agrocombustibles**

En la actualidad se ha aceptado este término para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se origina a partir de la materia prima orgánica formada por vía biológica. Quedan por tanto fuera de este concepto los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque también tuvieron su origen biológico en épocas remotas.

Los mismos se pueden clasificar de acuerdo a su estado en: agrocombustibles sólidos como carbón de leñas y maderas; en líquidos principalmente el bioetanol y el biodiésel y los gaseosos como el biogás (metano).

Una segunda clasificación se puede realizar en relación a la materia prima principal que utilizan: Agrocombustibles de Primera generación: basados en materia prima comestible, aceite de soja, caña de azúcar, maíz, plantean el problema “food for oil”, al competir con la demanda de alimentos; los de Segunda generación: basados en materia prima no comestible como la *Jatropha curcas*, *Camelina sativa*, *salicornias sp.* y algas; y los de Tercera generación: en este caso la materia prima es celulosa no comestibles (residuos de madera o variedades de pastos), se producen a partir de nuevas tecnologías en desarrollo, comercialmente no viables aún, el más conocido es un proceso llamado “Fischer – Tropsch”, que convierte la celulosa de residuos de madera o variedades de pastos a combustible a través de la gasificación de sólidos.

Entre los principales agrocombustibles de primera generación se encuentran la producción de bioetanol derivada de las biomásas de cultivos energéticos o *feedstocks* de Maíz (*Zea mays*), sorgo dulce (*Sorghum bicolor*), yuca (*Manihot esculenta*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), entre otros; el biodiésel que se produce a partir de las oleaginosas como la soja (*Glycine max*), aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*), colza (*Brassica napus*), y otros; y el biogás el cual se obtiene a partir de residuos

orgánicos mediante procesos de digestión anaeróbica (Torres & Hernández, 2006). Tanto el bioetanol como el biodiesel son agrocombustibles producidos a gran escala y que se utilizan como reemplazantes de los combustibles líquidos, nafta y diesel respectivamente, mientras que el biogás se presenta en la actualidad como una oportunidad para las zonas rurales, pues les garantiza un suministro de gas metano o electricidad descentralizada producida gracias a toda materia orgánica de alrededor.

Actualmente todas las energías alternativas juntas proveen alrededor del 19% de la energía mundial. De ellas, la mayor parte está representada la biomasa tradicional (principalmente leña) y sólo el 0.8% de la energía total proviene de los agrocombustibles para el transporte (REN 21, 2016). Los agrocombustibles continúan haciendo una pequeña pero creciente contribución a la demanda mundial de combustible para el transporte carretero, y también se está empezando a visualizar un pequeño y creciente uso en aviación y transporte marítimo (Montilla, 2014).

América en su conjunto lidera la producción mundial de biodiesel con EEUU en primer lugar, seguido por Argentina en segundo lugar y Brasil en el tercer puesto. La región también es líder en la producción de etanol, con EEUU en primer lugar, Brasil como segundo productor mundial, representando ambos el 85% de la producción mundial. (Infocampo, 2017). En la región europea, Francia se destaca como productor de biodiesel y como productor de etanol, ocupando el cuarto y quinto puesto a nivel mundial respectivamente. Asia está incrementando rápidamente la producción de ambos, biodiesel y etanol. Indonesia es el quinto productor mundial de biodiesel; en tanto que China es el tercer productor mundial de etanol. La producción de agrocombustibles en África se encuentra aún muy limitada, pero lentamente los mercados se van expandiendo.

En 2015, así como en años anteriores, la mayoría de las políticas adoptadas alrededor del mundo, en el sector del transporte renovable, se enfocaron al transporte por carretera mediante el apoyo a la producción y utilización de agrocombustibles. Las políticas para promover la integración de las energías renovables y vehículos eléctricos, así como el uso de las energías renovables en el transporte aéreo o ferroviario, han tenido un lento desarrollo. Hacia finales del 2015, ya en 66 países había mandatos relacionados a los agrocombustibles a nivel estatal/provincial (REN 21, 2016). El apoyo se ha desplazado cada vez más hacia la promoción del desarrollo de nuevas políticas de agrocombustibles avanzados de segunda generación. Sin embargo, hasta la fecha, la mayoría de las



políticas adoptadas a nivel mundial se enfocan especialmente en agrocombustibles de primera generación.

Esta orientación se expresa en países y regiones que están intentando realizar un cambio su la matriz energética, como por ejemplo la Unión Europea, el plan energético de Estados Unidos y los esfuerzos por parte de los países sudamericanos con fuerte potencial agrícola, tal es el caso de Brasil y Argentina. En el caso de Europa se acordó un plan energético que le permita superar tanto su dependencia de los hidrocarburos como los efectos sobre el medio ambiente, para ello se espera que el 20% de su consumo energético en 2020 proceda de fuentes renovables y que los agrocombustibles alcancen el 10% del consumo de carburantes en 2020 (El Mundo, Madrid, 2017). La administración de los E.E.U.U. ha anunciado recientemente el objetivo de reducir el consumo de gasolina un 20% durante los 10 años próximos, pero la mayor parte de ésta expectativa se alcanza haciendo crecer la producción del etanol, que puede no ser factible sin avances tecnológicos significativos (World Economic Outlook, 2007). En el caso específico de Brasil, existe una experiencia de más de treinta años en el tema ya que comenzó con la producción de etanol a partir de la caña de azúcar en los '70 cuando la cuadruplicación del precio del petróleo causó serios problemas en su balance de pagos; no sólo es activa en la producción, sino también en la tecnología de los agrocombustibles, tanto en los motores que lo usan como en los equipos que lo producen. En Argentina, a partir del año 2005 se comenzó a realizar inversiones en gran escala para la producción de agrocombustibles, especialmente el biodiesel y cuenta con una ley de promoción de los biocombustibles (Ley 26093) que establece beneficios impositivos y como contraparte exigía para el año 2010 un agregado de por lo menos el 5 % en los combustibles utilizados, en la actualidad este porcentaje se ha elevado a 10% en el caso del biodiesel y a 12% para el bioetanol.

Con respecto a esto en la actualidad a nivel mundial, empresas y gobiernos están haciendo una intensa campaña para presentar los agrocombustibles como alternativas ambientalmente amigables que ayudarían a combatir el cambio climático al sustituir una parte del consumo del petróleo dedicado a combustibles para transporte, originando una menor contaminación ambiental. Pero la lógica de fondo no es abandonar el petróleo ni cambiar los patrones de consumo, sino aprovechar la coyuntura para crear nuevas fuentes de negocios, promoviendo y subsidiando la producción industrial de cultivos para esos fines (Ribeiro, 2006). De esta manera, los agrocombustibles se encuentran entre las

propuestas más nombradas, principalmente porque su posibilidad de adopción es de alcance masivo. Sobre la base de una proyección hacia el año 2030, se estima que los agrocombustibles van a representar en el mundo no más del 3,5 % en el consumo de energía para transporte, no obstante esta baja incidencia, sus efectos directos en los mercados agrícolas, el medioambiente y la seguridad alimentaria son ya objeto de controversias (FAO, 2008).

Si bien los agrocombustibles pueden ofrecer una serie de ventajas como combustibles renovables, algunos la consideran energía renovable en la medida en que el ciclo de plantación y cosecha se podría repetir indefinidamente, teniendo en cuenta que no se agoten los suelos ni se contaminen los campos de cultivo y que, además, no tiene impacto neto en la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera; muchas señales de alerta están comenzando a surgir desde distintos ámbitos de la sociedad, la academia y los sectores productivos. Los impactos ambientales de los monocultivos, la competencia con la producción de alimentos y la “eficiencia energética” son algunos de los temas que se debaten en estos días en todo el mundo.

## **CAPITULO 3: AGROCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA**

### **Situación actual**

La Argentina presenta una matriz energética, basada principalmente en derivados del petróleo (33%) y del gas natural (54%), ambas fuentes representan el 87% de la energía consumida en el país, lo cual demuestra una importante concentración de la oferta en recursos no renovables. En el caso de la energía hidráulica, esta representa un 6% del total; mientras que la energía nuclear solo constituye un 2% del total de la oferta energética del país. En este marco, el resto de las energías renovables (solar, eólica y biomasa), apenas alcanzan el 5% del total (Ministerio de Energía y Minería, 2017). El resultado de esa distribución permite apreciar la incidencia que tienen las energías no renovables, no solo en el aspecto medioambiental, sino también en términos de seguridad energética, de aquí la necesidad de diversificar la matriz

La estructura de consumo energético del sector transporte en la Argentina se encuentra altamente concentrada en el gasoil (66%), seguida por las naftas (17%) y el GNC (17%). Desde hace varias décadas el consumo interno de combustibles del país ha crecido significativamente, en una proporción sustancialmente mayor al crecimiento de la producción. El gasoil es consumido principalmente por el transporte automotor de cargas (41%) y el sector agropecuario (37%), mientras que automotores particulares consumen el 14%, el transporte urbano de pasajeros el 6% y el interurbano el 2%. Este escenario no tendría posibilidades de retrotraerse en el corto plazo, ya que los grandes consumidores de gasoil son sectores en expansión en Argentina (SAGPyA 2005).

En este contexto, los agrocombustibles son presentados por diferentes actores e instituciones (industrias, gobiernos, científicos), como una fuente alternativa para lograr un cambio hacia el uso de energías sustentables.

Sobre finales de la década de los 70 se da el primer impulso a los agrocombustibles en Argentina mediante lo que se denominó Plan Alconafta que básicamente consistía de un corte del 15 % en las naftas de alcohol etílico anhidro. Este plan fracasó en un muy corto plazo debido a su alto costo fiscal y falta de actualización de precios. Durante los años 90 hubo diferentes emprendimientos para promover el biodiesel, que al no existir una obligatoriedad de mezcla con el gasoil, debieron cerrar sus puertas o reorientar su producción hacia la industria oleoquímica. (Di Paola, 2014). Actualmente hay un marcado interés en la República Argentina en la producción de agrocombustibles, particularmente

biodiesel. Prueba de ello es la sanción de la **Ley de Biocombustibles** del 19/04/2006. (La ley se encuentra disponible en [www.biodiesel.gov.ar/marcolegal](http://www.biodiesel.gov.ar/marcolegal)).

La sanción de la Ley Nacional de Biocombustibles 26.093, reglamentada en el año 2007, establece un régimen de desgravaciones y otros incentivos para promover su producción, fijando asimismo como corte obligatorio a partir del año 2010, un 5% de biodiesel al gasoil y 5% de bioetanol a las naftas. También esto se encuentra expresado en el Artículo 13 del Decreto Reglamentario, identificándolos como B5 (combustibles con el 5% de biodiesel) y E5 (combustibles con el 5% de etanol), este porcentaje podrá aumentar, en función de las variables del mercado o disminuir, en situaciones de escasez. Esta cuota inferior fue elevada (Resolución de la Secretaría de Energía 7/2010 del 9 de febrero de 2010) al 7%, a fin de incrementar el volumen de reemplazo de gasoil, **hoy el corte es del 10%**, pero a mediano / largo plazo, el corte en el transporte irá aumentando lentamente, pasando por el 12%, luego al 15% y en algunos segmentos de consumo, como transporte automotor de pasajeros y agro, se podría llegar a un 20% (Falasca, 2017). **El corte de bioetanol en las naftas, hoy se encuentra en el 12%.**

Además en la ley se establecen que serán priorizados los proyectos provenientes de pequeñas y medianas empresas; productores agropecuarios y economías regionales; y el marco regulatorio de la producción y distribución de los agrocombustibles. A su vez señala que solo podrán producir agrocombustibles las plantas habilitadas por la Autoridad de Aplicación. Esta habilitación implica un procedimiento donde los interesados deberán cumplir con requerimientos de calidad y producción sustentable, además de someter sus proyectos a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental que incluya el tratamiento de efluentes y gestión de residuos. Es importante destacar que la ley sólo admite materia prima de origen vegetal.

Desde la reglamentación de esa ley, el desarrollo de los agrocombustibles ha ido avanzando en el país. Argentina es hoy uno de los países de mayor difusión en el uso de agrocombustibles líquidos y se ha posicionado a nivel mundial como uno de los países con mayor porcentaje de corte de biodiesel en gasoil a la par de Alemania y Francia.

La producción de agrocombustibles en la Argentina está centrada en el bioetanol a partir de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y más recientemente maíz (*Zea mays*) y el biodiesel basado en el empleo de uno de los subproductos principales de la industrialización del grano de soja (*Glycine max*) como son los aceites. Argentina, en estos últimos años, ha experimentado un elevado desarrollo en cuanto a la producción de

biodiesel y bioetanol, no así en materia de biogás. El biogás, aún se presenta como una oportunidad latente de ser producido en forma industrial, lo cual permitiría alimentar redes eléctricas y gas de uso público, brindando autonomía energética a pueblos y ciudades, y ofreciendo una nueva posibilidad de agregado de valor en origen para los productos y subproductos agropecuarios. Sin embargo, Argentina ya cuenta con algunas plantas de biogás que tratan sus residuos recuperando energía, como por ejemplo los lodos cloacales, los efluentes en la industria cervecera, en frigoríficos, empresas lácteas, empresas productoras de gelatinas, granjas porcinas y ciertos tambos así también como en feedlot, produciendo energía de forma local. Por esta razón, por la importancia que implican en cuanto a desarrollo y volumen, el análisis se centra en el biodiesel y el bioetanol, dejando de lado el análisis del biogás.

## **BIODIESEL**

### **Definición y obtención**

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el Biodiesel como *“el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”*.

Se presenta en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales principalmente de soja, colza, girasol, palma y otros, como así también de grasas animales. Diversos métodos de producción han sido utilizados, entre los que podemos citar: mezclado/dilución, microemulsificación, craqueo térmico, esterificación y transesterificación.

Hoy en día, el biodiesel es comercialmente producido por transesterificación a partir de aceites vegetales con alcohol. Los alcoholes más comúnmente utilizados son metanol o etanol, estos pueden ser producidos a partir de fuentes de energía renovable (Nabi *et al.*, 2006; Salvi & Panwar, 2012). Este proceso consiste en hacer reaccionar al aceite vegetal con el alcohol, en presencia de un catalizador (metóxido de sodio o el hidróxido de potasio) a baja presión y temperatura (Lenoir, 2002) mediante el cual los ácidos grasos que forman las grasas o aceites son separados del glicerol, un valioso subproducto generalmente usado en jabones y como precursor en la industria química.

Es un combustible de origen vegetal que puede reemplazar al gasoil mineral. Este combustible está registrado en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de

Norteamérica para usarlo como combustible puro (100 % Biodiesel o B100), como mezcla-base (20 % Biodiesel y 80 % gasoil o B 20) o como aditivo de combustibles derivados del petróleo en proporciones del 1 al 5 % (Ugolini, 2002; López, 2005).

Para obtener el biodiesel utilizando como materia prima el aceite contenido en granos oleaginosos, es necesario atravesar una serie de etapas:

1. **Etapas I - Agronómica:** abarca desde las labores de preparación de la cama de siembra, hasta la cosecha de los granos.
2. **Etapas II – Almacenamiento, acondicionamiento, limpieza y extracción de aceite:** comprende la obtención de aceite a partir de la molienda de los granos procedentes de la etapa I.
3. **Etapas III - Transesterificación:** consiste en la obtención del combustible a partir del aceite obtenido en la etapa II.
4. **Etapas IV - Mezclado y distribución:** esta sección incluye a el proceso de mezcla del aceite procesado y gasoil (en la proporción que se requiera: B5, B20, B50). Una vez obtenido el biodiesel se procede a su distribución. En esta fase, las empresas gasolineras cumplen un rol determinante.
5. **Etapas V - Consumidor Final:** al cual se le expende este tipo de agrocombustibles.

Tanto la Etapa Agronómica como la de extracción de aceite son necesarias para obtener la materia prima principal utilizada en la producción del biodiesel.

La importancia de reconocer las distintas etapas por las que atraviesa la producción de los agrocombustibles es lograr dilucidar el consumo de energía que ocurre a lo largo de todo el proceso, ya sea consumo de energía directa (combustible incorporado directamente) e indirecta (combustible utilizado para la fabricación de los insumos y maquinarias), asimismo, en el pasaje a las distintas etapas se produce un gasto adicional proveniente del transporte. No hay que olvidar que la Eficiencia Energética, entendida como las unidades de energía obtenidas, por cada unidad de energía que se agrega a un sistema dado (ver capítulo 1); es una herramienta primordial a la hora de analizar la sustentabilidad del sistema, por eso hay que tener bien presente todos los ingresos/egresos de energía a lo largo de toda la cadena para obtener un dato lo más cercano a la realidad.

## Producción nacional

La producción nacional de biodiesel en el año 2018 ha sido estimada por el USDA en 3.050 millones de litros, un 3,7% por encima de los 2.940 millones que se habrían generado en el año 2017 y sutilmente por arriba de 2016, que hasta ahora es el año récord. Esta producción estimada representaría un 49,52% de la superficie total destinada a la soja. Las exportaciones de biodiesel se mantendrían sin cambios en el 2018 respecto al año anterior, mientras que el consumo doméstico aumentaría un 8,8% (BCR, 2018). La capacidad total de producción se ubica en 5.500 millones de litros por año (89,33% de la superficie cultivada actual de soja), y se espera un aumento del uso de la capacidad instalada, pasando de 53% a 55%, y, por lo tanto, de la producción. Numerosos proyectos de multinacionales y de aceiteras locales crecieron en el país construyendo plantas de biodiesel, movidos por la "fiebre" mundial del biodiesel. Hay alrededor de 38 plantas de biodiesel, de las cuales las 7 de mayor tamaño de Argentina están ubicadas en el Gran Rosario. Argentina es el tercer productor mundial de biodiesel en base a aceite de soja, y ocupa el primer lugar como exportador, así el 90% que se exportó se destinó a Estados Unidos, mientras que el 10% restante fue a Perú y Panamá, durante al año 2016 (SAGPyA, 2017).

A pesar de esto, durante los últimos años la industria se vio enfrentada con un cambio en las condiciones del mercado externo e interno producto de retrasos en los precios de referencia para el corte obligatorio y crecientes trabas impuestas por la Unión Europea que estuvieron ligadas, en una primera fase a condicionamientos medioambientales y más tarde a tasas de importación que cerraron prácticamente el mercado. El mercado europeo se reactivó luego de que la Corte Suprema de Justicia (de la UE) considerara ilegales los actuales derechos antidumping. Mientras que desde Estados Unidos se impuso en febrero del 2018 barreras arancelarias antidumping y subsidios que llegan al 140%, cerrando el mercado estadounidense al menos por cinco años. En este contexto la Argentina este año solo podrá exportar biodiésel al mercado europeo (EconoJournal, 2018).

En relación con la materia prima, si bien Argentina cuenta con una canasta de productos oleaginosos diversificada, que incluye Cártamo (*Carthamus tinctorius*), Colza (*Brassica napus*), Lino (*Linum usitatissimum*), Algodón (*Gossypium herbaceum*) y Maní (*Arachis hypogaea*); es principalmente la soja (*Glycine max*), seguida por el Girasol (*Helianthus*

*annuus*), los cultivos que concentran más del 97% del área sembrada por oleaginosas y casi la totalidad de los volúmenes producidos.

La soja (*Glycine max*), ha tenido a lo largo de los años un gran impulso, llegándose a convertir en el cultivo más relevante para el país. En la actualidad el volumen parcial acumulado supera las 22 MTn y la proyección se mantiene en 38 MTn para el ciclo 20017/8 en un área sembrada de 18 millones de ha, las mismas se extienden desde la región Pampeana, Mesopotamia, y Noroeste del país, ubicándose principalmente en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires. El salto productivo de este cultivo, se produjo en la campaña 1996/97, cuando se liberaron los primeros materiales de soja transgénica tolerantes a glifosato, situación que facilitó en combinación con la difusión de la siembra directa; este proceso generó la expansión del área bajo cultivo con esta oleaginosa y como consecuencia de su producción han llegado a posicionar a la Argentina como el tercer productor mundial del grano. El principal uso de la semilla de soja es destinado a la industrialización para la obtención de aceite, posicionándose como tercer productor y primer exportador mundial de aceite de soja (*Glycine max*). Gran parte de la producción de la semilla de soja es comercializada hacia el exterior.

En Argentina, la cadena de soja (*Glycine max*), representa uno de los pilares de la economía del país, generando en forma directa e indirecta cientos de miles de puestos de trabajo, valor agregado, ingreso de divisas e importantes recursos fiscales. En pocos años, la producción de biodiesel se sumó como un eslabón más de agregado de valor al complejo agroindustrial argentino, consolidando uno de los mayores polos de producción a nivel mundial, con tecnología y escala que lo ubican entre los más eficientes del mundo. (Ministerio de Agroindustria, 2017).

### **Propiedades del Biodiesel**

Las propiedades del biodiesel según Lenoir (2002) pueden resumirse de la siguiente manera:

- Densidad: 0,878 kg/l (15°C).
- Viscosidad cinemática 1,9-6 cSt.
- Punto de inflamación 130°C (vs 80°C del gasoil.)
- Lubricidad 6.000 gramos BACLE.
- Poder calórico 7.795 Kcal/l (vs 8.740 Kcal/l del gasoil).



## **Potencialidades del biodiesel**

Actualmente estamos transcurriendo un nuevo paradigma a nivel global en lo que respecta al uso de agrocombustibles, siendo irreversible su incorporación en la matriz energética mundial. En este sentido, nuestro país surge como un óptimo candidato para dar respuesta a la demanda de biodiesel de soja, proveniente principalmente de Europa y Estados Unidos. Argentina es considerada como uno de los países privilegiados para participar del mercado internacional de la bioenergía ya que posee grandes extensiones de tierras cultivables; diversidad geográfica y climática; proximidad de la materia prima con los puertos y además tiene uno de los sistemas de producción agropecuaria más eficientes del mundo. Estas características, sumadas a la tecnología de punta que utilizan las plantas de producción a escala industrial, hacen que el biodiesel argentino, a partir de aceite de soja, sea desde todo punto de vista uno de los agrocombustibles con mayor potencial. De acuerdo con un estudio del Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), los países de Latinoamérica que poseen mayor potencial para producir agrocombustibles son Brasil, Argentina, Perú, Colombia, Bolivia, Paraguay y Uruguay (FAO, 2013).

Existen ciertas características propias del biodiesel que lo posicionan como una gran alternativa de reemplazo del diesel:

### *Técnico-mecánicas*

- El uso de biodiesel se adapta con mayor flexibilidad a la tecnología ya existente. Este agrocombustible puede ser utilizado en motores de combustión interna convencional, con pequeñas o sin modificación en motores actuales (Gerpen, 2005; Canaki, 2007), también se puede emplear como combustible puro o mezclado con diesel convencional, siendo estable en cualquier proporción. Esto lo hace una alternativa de fácil y rápida adopción.
- Es más seguro de transportar y almacenar, ya que tiene un punto de inflamación mayor que el diesel fósil. Flash point aprox. 130 °C – (Diesel fósil aprox. 70 °C).
- El biodiesel, prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental. El Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) está considerando al azufre como el “plomo” del próximo siglo. Actualmente en todas partes

las legislaciones, están exigiendo disminuir el contenido de azufre del diésel, de manera que este sea Low sulphur diesel o LSD (diésel de bajo contenido de azufre). El LSD tiene un menor grado de lubricidad que el diésel, incrementando el ruido y desgaste de los motores por lo que las compañías petroleras deben por este motivo agregar al gasóleo aditivos químicos y sintéticos para paliar esa anomalía. En este sentido, el biodiesel posee mayor lubricidad que el diesel de origen fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores y su vez, posee un importante poder lubricante, por lo que puede ser considerado un aditivo para mejorar la lubricidad.

#### *Ambientales:*

- Entre sus ventajas ambientales, podemos citar su impacto notorio en la reducción de emisiones gaseosas nocivas producto de la combustión. El biodiesel tiene el potencial para reducir emisiones de gases contaminantes generados en el sector transporte, el cual es el mayor usuario de combustibles fósiles líquidos. El uso del biodiesel también reduce las partículas tóxicas liberadas a la atmósfera como resultado de la quema de combustibles, puede proveer de tal forma beneficios a la salud humana (Pawar *et al.*, 2011). El dióxido de carbono que emite a la atmósfera el biodiesel durante la combustión es considerado neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Aplicando las técnicas agrícolas y las estrategias de procesamiento apropiadas, los agrocombustibles pueden ofrecer ahorros en las emisiones de al menos el 50%, comparando con combustibles fósiles como el gasóleo o la gasolina (Hernández & Hernández, 2008). Según un estudio realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en el año 2008, el biodiesel de soja contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático reduciendo en un 74,9% las emisiones de dióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con el uso de diesel de origen fósil (Hilbert, *et. al.*, 2012); otros estudios del INTA, E4Tech e ISCC confirman que el biodiesel argentino reduce las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 56% comparado con el combustible fósil (gasoil). Estos estudios, consideran solo el dióxido de carbono liberado en la quema del agrocombustible, sin tener en cuenta qué ocurre a lo largo de toda la cadena de producción del mismo, es decir, aquellos gases liberados durante la fabricación de insumos utilizados para la producción del agrocombustible o los liberados en la etapa industrial; en este sentido se debería analizar la liberación de dióxido de carbono a lo largo de toda la cadena productiva del biodiesel, lo cual será analizado más adelante. De

acuerdo con las enmiendas del Acta de Aire de Limpio (Clean Air Act) de 1990<sup>35</sup>, el biodiesel reúne todas las condiciones necesarias para ser considerado un combustible limpio, ya que la combustión del mismo no emite monóxido de carbono, compuestos sulfurados u óxidos de azufre y nitrógeno, ni compuestos aromáticos o material particulado, que contribuyan sustancialmente al efecto invernadero y así al calentamiento global.

- El biodiesel tiene otra característica importante desde el punto de vista ambiental, sobre todo durante el proceso de almacenamiento, manipulación y transporte del mismo, la biodegradabilidad. La biodegradabilidad es la facilidad con la cual la molécula de un compuesto químico se rompe en otras más simples llegando a formar  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El mecanismo predominante de la biodegradación es aquel debido a la actividad microbiana. Este mecanismo es deseable en el caso de pérdidas o derrames de biodiesel en el terreno o en el ambiente en general. Los componentes del diesel se biodegradan lentamente o no son biodegradables, está formado por una mezcla de alcanos, alcanos ramificados, cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos, además contiene pocos componentes que poseen oxígeno en su molécula y por este motivo puede considerarse como poco activo biológicamente. El biodiesel está formado por cadenas hidrocarbonadas que forman ésteres con dos átomos de oxígeno, lo que lo hace biológicamente activo (90 % es degradado al cabo de 28 días).

#### *Otras*

- Es interesante recalcar que el biodiesel puede tener (y a menudo tiene) un precio en planta superior al del gasoil, pero que la gran carga impositiva impuesta sobre los demás combustibles le permite en general adquirir un precio competitivo.
- El uso de aceites no comestibles y de bajo costo podría ser una opción para mejorar la economía de la producción de biodiesel y su producción comercial a escala industrial. Debido a diferentes condiciones climatológicas, varios países han localizado varios tipos de aceites vegetales no comestibles para su posible uso en la producción de biodiesel (Salvi & Panwar, 2012). En este sentido, en el mundo han sido identificadas alrededor de 350 plantas oleaginosas que pueden ser candidatas a investigación para la posible producción de biodiesel. Argentina cuenta con importantes ventajas comparativas en la producción de materias primas con potencial para la producción de biodiesel, dispone de una alta dotación de recursos naturales y de amplias condiciones

agroecológicas para el cultivo de diversas especies con fines energéticos. lo que permite proyectar el desarrollo de cultivos no tradicionales que sirvan de insumos para la elaboración de fuentes energéticas renovables. Dispone, además, de un sector agrícola altamente dinámico y competitivo, en el que se destaca su complejo oleaginoso, ubicado entre los más eficientes del mundo.

Otras fortalezas del sector productivo de biodiesel en el país son (Ministerio de Agroindustria, 2017):

- Localización adecuada de la industria respecto de las zonas productoras y los puertos, lo que insuere un bajos costos de fletes por cercanía de producción, por lo tanto un menor gasto de energía consumida en el transporte.
- Ventajas impositivas otorgadas por el Estado para la producción, sumado al corte estipulado de combustible con biodiesel en el mercado interno que asegura una demanda estable.
- Sustitución de importaciones de gasoil que fomenta una demanda estable.
- La posibilidad de utilización de aceites vegetales reciclados en la producción de biocombustibles.

### **Limitaciones:**

Si bien es auspicioso que el gobierno pretenda diversificar la matriz energética de nuestro país, generando una estrategia que puede dar una gran competitividad a Argentina en los mercados externos y que lo convierta en un potencial jugador en el mercado de la energía, la variante no debe centrarse solo en un elemento, y asimismo debe tener en cuenta la eficiencia energética integral del agrocombustible. La visión positiva hacia los agrocombustibles debe ser analizada cuidadosamente. La obtención, el procesamiento y el uso de agrocombustibles no son inocuas, y arrojan diversos impactos ambientales, sociales y económicos que deben ser considerados desde la perspectiva del desarrollo sustentable.

Un paso fundamental para maximizar las oportunidades y las ventajas comparativas regionales, es dar seguimiento a los procedimientos de evaluación de impacto ambiental, que son instrumentos decisivos para la toma de decisiones. Los principales impactos están relacionados con incrementos en la demanda de insumos, recursos y energía, con los riesgos potenciales sobre la calidad del agua y la conservación del hábitat (Stachett, *et*

al, 2007). Además, se debe tener en cuenta que los agrocombustibles se obtienen bajo el modelo de producción actual basado en un alto consumo de insumos derivados de los combustibles fósiles y que se encuentra asociado a una serie de problemas sociales y ambientales, algunos de ellos de gran magnitud, que ponen en duda su permanencia en el tiempo.

#### *Eficiencia Energética:*

- Uno de los puntos fundamentales a la hora de analizar la producción de biodiesel en nuestro país es la Eficiencia Energética. Para lograr sustituir el petróleo por agrocombustibles se necesita que estos últimos produzcan más energía que la que requiere su elaboración. Hoy se produce agrocombustibles con petróleo, pero, en el futuro, si se pretenden como sustitutos de los combustibles fósiles, se deberán sostener estos sistemas productivos con el propio (una parte) del agrocombustible producido. Sin embargo, la agricultura moderna se ha caracterizado por requerir elevados insumos energéticos (Dazhon & Pimentel, 1990) por lo que la eficiencia energética de muchos sistemas productivos ha demostrado tener valores bastante bajos, cercanos a la unidad o aun menores, dependiendo de la tecnología utilizada (Ozkan *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2007). En este sentido, Iermanó & Sarandón (2009), analizando diferentes modelos productivos para la Región Pampeana Argentina, observaron que la energía “cosechada” en el biodiesel fue menor a la invertida para su obtención cuando se producía a través de soja (0,31) y algodón (0,18), casi igual (colza: 1,09) o, apenas superior (girasol: 2,92), lo cual señala la inviabilidad energética de los modelos intensivos de producción para la producción de este agrocombustible. Esto se agrava cuando se considera que los valores de eficiencia energética fueron calculados sin incluir los gastos de energía directa y asociada utilizada en los procesos industriales de obtención del biodiesel, ni los gastos de energía durante el transporte a lo largo de la cadena productiva y su distribución, que ha sido señalado como un aspecto fundamental a tener en cuenta en la posibilidad del uso masivo de bioenergía (Hamelink *et al.*, 2005). Estos resultados están indicando que la energía que se obtiene con el biodiesel, con los modelos modernos de agricultura, es menor a la que se incorpora para el proceso, o en el mejor de los casos, es apenas superior, denotando la incapacidad del combustible para subsidiarse a sí mismo, por lo menos bajo este modo de producción.

#### *Cambio de uso del suelo*

- El empleo de tierras para la producción de materias primas de biocombustibles, que durante una línea temporal han sido destinadas para otros usos, se conoce como cambio en el uso de la tierra (Benndorf *et al.*, 2007). La producción de biodiesel requiere como materia prima el uso de aceites vegetales, los que se obtienen a partir de los granos oleaginosos. Pero la producción de dichos granos tiene como principales destinos el uso para la alimentación humana y animal, y la exportación como fuente generadora de divisas. De esta manera, frente a la posibilidad de producir biodiesel a gran escala, es necesario plantearse de dónde se obtendrá esa materia prima, es decir, si se cambia el destino de la producción o si se aumenta la superficie agrícola avanzando sobre áreas vírgenes o destinadas a otro uso (Iermanó, 2007).

La producción masiva de agrocombustibles requerirá aumentar la superficie agrícola actual o reconvertir el destino de la superficie destinada a producir alimentos hacia la producción de cultivos energéticos para su elaboración. Esto pone en duda la idea que se tiene desde que se plasmó la posibilidad de desarrollar la producción de biodiesel en Argentina, de que en el país existen las condiciones ideales por el incesante aumento de las áreas sembradas con la oleaginosa (Ugolini, 2002; Corradini, 2001). Por ejemplo, para producir el biodiesel necesario para reemplazar el gasoil que utiliza el agro argentino, habría que duplicar la superficie sembrada con soja en la Argentina, unas 20 millones más de has (Iermanó & Sarandón, 2009). En relación a esto se debe analizar los efectos del avance de la frontera agrícola, como la intervención sobre ecosistemas más frágiles con la consecuente pérdida de biodiversidad, degradación de los suelos y contaminación por el mayor uso de insumos. A su vez, la pérdida de biodiversidad implica la pérdida de los servicios ecológicos que la misma brinda, los cuales deben ser reemplazados por insumos, los que provoca elevados perjuicios ambientales y, además, reduce aún más la eficiencia energética de los sistemas productivos. Como han señalado de esta manera, la producción de biodiesel sería responsable de la destrucción de la biodiversidad para hacer “monocultivos energéticos” que, paradójicamente, requieren la incorporación de elevadas cantidades de energía (Iermanó & Sarandón, 2009). Para suplir las necesidades energéticas globales e impactar de manera efectiva en reducir el calentamiento global, se necesitarían millones de hectáreas de tierras agrícolas y la incorporación de otras tantas a costa de ecosistemas naturales, lo que repercutiría en la soberanía alimentaria de los pueblos, en las pequeñas agriculturas familiares y en la biodiversidad (Bravo, 2004), principalmente porque se sigue produciendo bajo un modelo intensivo y productivista.

Sumado a esto se debe tener en cuenta que la producción de biodiesel en la Argentina, se posiciona como un sector dedicado a la exportación, es decir que estaríamos produciendo energía a costa de nuestros recursos naturales (incluyendo los energéticos) para sustentar el consumo energético de los países desarrollados y su potencial aumento, asimismo tendríamos que dedicar mayor cantidad de superficie para lograr autoabastecernos con biodiesel y a su vez exportar, o dejar de exportar, con la pérdida de divisas que supone esto. Aunque se puedan obtener agrocombustibles a partir de algunos productos nativos para resolver los problemas energéticos a nivel local, el problema principal, es que en la actualidad esto no es visto así, sino que se produce en base a cultivos de gran escala y cuyo destino es la exportación.

#### *Aspectos socio- económicos:*

- Al igual que en el mercado externo, la industria aceitera argentina se encuentra concentrada en pocas empresas, la mayoría de ellas multinacionales. Éstas son además las principales acopiadoras de grano del país, característica que les otorga el control sobre el mercado de exportación nacional. En la Argentina, los proyectos de producción de agrocombustibles implementados por pequeños productores organizados sobre una base local están dispersos y desarticulados. Los pequeños productores que intervienen en la elaboración de biodiesel no tienen plantas habilitadas por la Secretaría de Energía y se limitan hasta ahora a una venta de aceite o a su consumo o comercio informal de biodiesel, carecen de apoyo financiero y técnico y se enfrentan a problemas logísticos, en regiones donde son insuficientes las inversiones públicas en infraestructura. Los volúmenes de combustibles son bajos, no cumplen los criterios de calidad y no pueden ser comercializados mientras las plantas no consigan su habilitación. Aun cuando los productores están agrupados en torno a cooperativas bien estructuradas, permanecen en una situación de dependencia frente a los grupos económicos que controlan la cadena y capturan la mayor parte del valor agregado a la materia prima (Carrizo *et al.*, 2008).

Algunos autores afirman que con la producción de biodiesel se espera fomentar el empleo y el desarrollo económico en las zonas rurales, reduciendo de esta forma la dependencia nacional sobre la importación de petróleo y aumentando la seguridad del abastecimiento energético (Moser, 2009); aunque este análisis se debería hacer con un enfoque global y atendiendo a todas las condiciones del sistema productivo, el desarrollo de cultivos energéticos es a menudo presentado como una alternativa para la creación de empleos, pero cuál es la posibilidad de los pequeños y medianos productores de insertarse de

manera competitiva en los circuitos controlados y dominados por los grandes grupos agroindustriales o por las aún más grandes empresas del sector petrolero.

*Competencia con alimentos:*

- Podemos señalar que otra desventaja observada sobre los agrocombustibles de primera generación ha sido la llamada “crisis alimentaria” (Salinas, 2009). Dado que los agrocombustibles se producen a base de alimentos o bien compiten por la tierra que puede ser utilizada para producir alimentos, se debería tener en cuenta que la superficie destinada a producir estos cultivos, inicialmente, no satisface las demandas energéticas, según lo visto en los puntos anteriores, y por lo tanto no solo se debería utilizar toda la superficie actual de los cultivos para producir energía sino que esta debería aumentar, y aun así no lograría satisfacer las futuras necesidades energéticas, en base a esto se debe analizar qué sucederá con la disponibilidad de alimentos y el acceso a los mismos. Por un lado, esta situación impacta el precio de los alimentos, de manera directa al restringir la oferta de granos para la alimentación, o de manera indirecta si los alimentos son insumos de ganado; lo que impacta al precio de la carne y de los lácteos. La reconversión de las superficies productivas destinadas a la alimentación hacia sistemas productivos para la producción de agrocombustibles provocará el desplazamiento de otras actividades ganaderas o agrícolas destinadas a la alimentación con el consecuente aumento de los precios y del costo de vida para las familias (Sarandón & Flores, 2014). El economista Don Mitchell, del Banco Mundial, estimó que el impacto del uso alternativo de alimentos por agrocombustibles implicó un incremento de precios de los alimentos en 70%. Para la industria biotecnológica, el aumento en el área cultivada de soja y la duplicación de los rendimientos por unidad son un éxito económico y agronómico, para el país, esto implica mayor importación de alimentos básicos, por ende pérdida de soberanía alimentaria, aumento en el precio de los alimentos y el hambre (Pengue, 2005). El avance de la “frontera agrícola” para agrocombustibles es un atentado contra la soberanía alimentaria de las naciones en desarrollo, en tanto la tierra para producción de alimentos está crecientemente siendo destinada a satisfacer las necesidades energéticas de países desarrollados. La producción de agrocombustibles también afecta directamente a los consumidores con un incremento en el costo de los alimentos (Altieri & Bravo, 2008). Si bien los factores que impactan sobre los precios de los alimentos son variados, es generalizada la aceptación de que los agrocombustibles impactan sobre el precio de los



alimentos básicos (FAO, 2008), aunque no hay un acuerdo en la dimensión de este impacto.

#### *Cambio climático:*

- Uno de los principales argumentos de quienes defienden los agrocombustibles es que estas nuevas formas de energía ayudarán a mitigar el cambio climático. Promoviendo el monocultivo mecanizado que requiere de agroquímicos y maquinarias, lo más probable es un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> como resultado final. Mientras los ecosistemas naturales, como los bosques captadores de carbono son eliminados para abrirle el camino a los cultivos destinados a los agrocombustibles, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarán en vez de disminuir. (Bravo 2006; Donald 2004). Lo que es más, convertir biomasa vegetal en combustible líquido en la refinerías produce inmensas cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero (Pimentel & Patzek 2005).

Por un lado, se sigue priorizando los agrocombustibles, con fuertes subsidios económicos y políticas públicas de apoyo, mientras que otras fuentes alternativas, como la energía eólica y solar con un potencial de eficiencia energética e inocuidad más probada que los agrocombustibles, no logran mayores impulsos que programas pilotos o experiencias muy puntuales (Voloj, 2008).

#### **Conclusión biodiesel**

En base a lo analizado hasta aquí, la producción de biodiesel en nuestro país y de la forma en que se está realizando actualmente presenta una serie de limitaciones que atentan contra la sustentabilidad del sistema. Si bien existen algunas ventajas con respecto a la producción de biodiesel como su biodegradabilidad, ventajas técnico mecánicas, reducción del CO<sub>2</sub> en la combustión, no representa una solución al problema que se pretende solucionar como es el calentamiento global y la crisis energética. Si bien nuestro país tiene ventajas comparativas en materia de producción de este agrocombustible ya que tenemos un gran desarrollo del sector sojero, disponibilidad de amplios territorios y diversidad climática para la producción de cultivos oleaginosos, esto no significa que no haya otros impactos que afecten su producción. La producción de biodiesel en Argentina, la posibilidad de reemplazar el gasoil consumido actualmente en el país por el biodiesel aun está muy lejos de ser realidad y trae consigo una serie de consecuencias que impactan sobre todo el sistema. Varias son las limitaciones que presenta este agrocombustible, un punto principal, es el análisis de la eficiencia

energética, para cumplir con sus objetivos el biodiesel debería producir mayor cantidad de energía de la que consume. Según lo analizado esto no es así y, en los casos en que la eficiencia ha sido mayor a la unidad, esta ha sido levemente superior y, lo que es más, se está consumiendo energía fósil para producirlo. Ahora bien, en el caso de que logremos una eficiencia elevada y a través del uso del propio agrocombustible, existe otro punto muy importante, el de la superficie necesaria para la producción de este combustible. Indefectiblemente la superficie debería aumentar a costa de ecosistemas naturales o de otros cultivos que o bien se dejarán de producir o se desplazarán hacia otras zonas, con los impactos sociales y ambientales que esto implicaría. Hasta aquí si bien estamos en condiciones de producir biodiesel, las consecuencias ambientales, económicas y socioculturales serían completamente insustentables de la forma en que se plantean.

## **BIOETANOL**

### **Definición y obtención**

El etanol es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que puede utilizarse como combustible, solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo. El combustible resultante de la mezcla de etanol y gasolina se conoce como gasohol oalconafta. Dos mezclas comunes son E10 y E85, con contenidos de etanol del 10% y 85%, respectivamente. El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina normal, reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE).

El bioetanol se puede producir a base de cualquier biomasa que contenga cantidades significativas de almidones o azúcares. En la actualidad hay un ligero predominio de la producción relacionada con materiales amiláceos (un 53% del total), como el maíz (*Zea mays*), el trigo (*Triticum aestivum*) y otros cereales y granos. En esos casos, la tecnología de conversión comienza, generalmente, con la selección, la limpieza y la molienda del grano. La molienda puede ser húmeda o seca, en ambos casos, el almidón se convierte en azúcares mediante un proceso enzimático a altas temperaturas. En ese caso, los azúcares liberados son fermentados con levaduras, y el resultante sufre destilación para la purificación del bioetanol. Además del bioetanol, esos procesos implican, generalmente, diversos subproductos, que varían de acuerdo con la biomasa utilizada. Considerando la

producción a base de azúcares, como en el caso de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y de la remolacha (*Beta vulgaris*), el proceso es más sencillo e implica una etapa menos, ya que los azúcares están disponibles en la biomasa. En general, el proceso se basa en la extracción de los azúcares (por medio de la molienda o de la difusión), que pueden seguir directamente hacia la fermentación. La producción de bioetanol a partir de celulosa está aún en un nivel de laboratorio y plantas piloto, con obstáculos tecnológicos y económicos que se deben superar.

Para su uso como aditivo de los combustibles se requiere que el alcohol proveniente de las destilerías, llamado hidratado porque contiene un 4 % de agua, pase por un tratamiento con cámaras o filtros de deshidratación desde donde se obtiene el alcohol anhidro o etanol.

La producción de etanol a gran escala puede ser realizada a partir de tres tipos de materias primas: las que contienen sacarosa como la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*), remolacha (*Beta vulgaris*), sorgo dulce (*Sorghum bicolor*); las que contienen almidón como el maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), mandioca (*Manihot esculenta*); y las que contienen celulosa (madera y residuos agrícolas).

Para obtener el bioetanol es necesario atravesar una serie de etapas:

- 1. Etapa I - Agronómica:** abarca desde las labores de preparación de la cama de siembra, hasta la cosecha de los granos (en el caso del maíz *Zea mays*) y zafra para el azúcar (*Sacharum officinarum*).
- 2. Etapa II – Almacenamiento, acondicionamiento, limpieza:** comprende el acondicionamiento previo al procesamiento de la materia prima.
- 3. Etapa III – Procesamiento, deshidratación y obtención del bioetanol.**
- 4. Etapa IV – Mezclado y distribución:** esta sección incluye al proceso de mezcla del etanol obtenido en la etapa anterior con la nafta. Una vez obtenido el bioetanol se procede a su distribución.
- 5. Etapa V - Consumidor Final:** al cual se le expende este tipo de agrocombustibles.

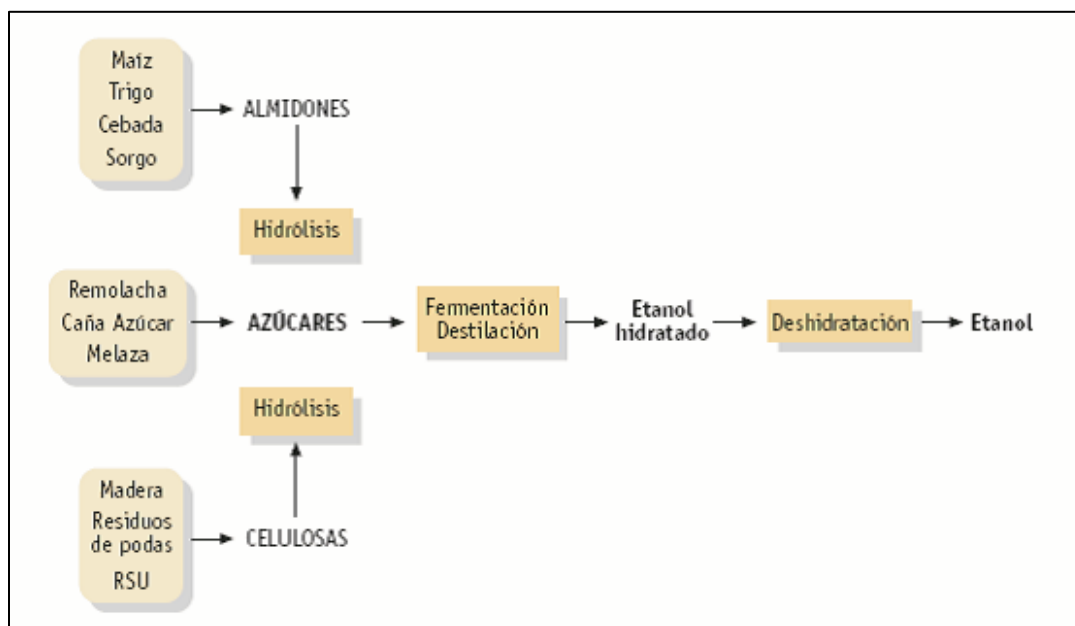


Figura 2: proceso de obtención de bioetanol, según materia prima.

### Producción nacional

Actualmente, cerca del 85% de la producción mundial de agrocombustibles líquidos está representada por el etanol. Los dos mayores productores de etanol, Brasil y Estados Unidos de América, dan cuenta de casi el 90% de la producción mundial, cuyo 10 por ciento restante se reparte entre Canadá, China, la Unión Europea (principalmente Francia y Alemania) y la India (FAO, 2008). La Argentina no tiene participación como exportador en el mercado externo, su producción de etanol es de 920.931 m<sup>3</sup>, de las cuales 452.900 m<sup>3</sup> son obtenidas a partir de maíz y 468.031 m<sup>3</sup> de caña de azúcar (Ministerio de Agroindustria, 2017). La producción actual de bioetanol casi en su totalidad se destina al corte obligatorio. El corte se fue incrementando desde el 2010 con un 2,5% de bioetanol hasta el 12% en la actualidad.

Actualmente, la totalidad de producción de bioetanol en la Argentina se elabora en base a la melaza, un subproducto de fabricación de azúcar (*Sacharum officinarum*) y de cereales, principalmente el maíz (*Zea mays*), el cual fue incorporado con posterioridad a la caña. Luego de la conclusión del “Programa Alconafta” (’70), mencionado anteriormente, se retomó la producción de bioetanol en la Argentina a partir de la implementación de la Ley N° 26.093 (2006). Así, si bien ya se contaba con cierta capacidad de producción en base a caña de azúcar desde fines de la década de 1970, la misma fue modernizada y

ampliada notablemente en la última década, sumando como novedad el surgimiento de proyectos orientados a obtener etanol de maíz con tecnologías modernas. Según los datos oficiales del Ministerio de Energía y Minería, el porcentaje de etanol a base de maíz en los últimos 3 años se encuentra en torno al 56% del total de etanol versus el 44% de la caña de azúcar.

Argentina cuenta con 14 plantas importantes elaboradoras de etanol de las cuales 5 obtienen etanol en base a maíz y se encuentran ubicadas en las provincias de Córdoba (con el 39% del volumen total de producción) San Luis y Santa Fe. Estas fábricas están en condiciones de producir cerca de 514.500 m<sup>3</sup> de etanol en el año. Por otra parte, hay 9 fábricas importantes que obtienen etanol en nuestro país procesando caña de azúcar 5 de ellas están localizadas en la provincia de Tucumán, 2 en Salta y 2 en Jujuy. En total, según información proporcionada por funcionarios del Ministerio de Agroindustria de la Nación, la capacidad de producción de estas 9 plantas oscilaría en los 450.850 m<sup>3</sup>/año. Todo esto implica finalmente que Argentina tiene una capacidad total de producción -con sus 14 fábricas principales- de 965.350 m<sup>3</sup>/año de etanol (BCR, 2017).

Actualmente el sector, junto con agencias del gobierno y las industrias automotriz e hidrocarburífera trabajan en los desarrollos técnicos para seguir incrementando la participación del bioetanol con el objetivo final de alcanzar la autorización del uso del Flex Fuel, (motores equipados con componentes modificados, diseñados especialmente para ser compatibles con las propiedades químicas del etanol), consistente en la mezcla de 25% de etanol anhidro en las naftas.

En lo que respecta a las materias primas, la producción de caña de azúcar en el NOA es clave en la economía regional de Tucumán, Salta y Jujuy –con una participación del 98% sobre el total de la producción nacional– y, en menor medida, en Santa Fe y Misiones. En las últimas tres campañas, el sector alcanzó una producción promedio de 2.1 millones de toneladas de azúcar y cerca de 380 millones de litros de alcohol destinado a agrocombustibles. De acuerdo con las estimaciones, para 2020 más del 80% del etanol producido será de caña de azúcar (INTA, 2014).

La producción de etanol se concentra en estas provincias, inicialmente su destino principal era el abastecimiento de las industrias de alimentos, bebidas, cosméticos y agroquímicos, mientras que el remanente era destinado a la exportación. Con la sanción de la ley de biocombustibles, se comenzó a utilizar el etanol para satisfacer la demanda del mismo para cumplir con el corte establecido. En la Argentina, hay más de 350 mil

hectáreas de cañaverales cuya producción se destina a 23 ingenios que elaboran azúcar y 16 destilerías, que obtienen 468.031m<sup>3</sup> de alcohol destinado a mezclas con naftas. El proceso de producción de alcohol de caña en la Argentina, se caracteriza por la conversión de la melaza en etanol (a diferencia del caso brasileño, en donde la conversión se obtiene a partir del jugo de caña). Este proceso da lugar a un rendimiento de 9 a 11 lts de etanol por tonelada de caña (contra los 85 lts/tn de caña potenciales del proceso de obtención a partir del jugo). De acuerdo con estimaciones internacionales, la actividad sucro-alcoholera podría crecer un 33% para 2020. Según datos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, el 78% de la actividad cañera de Tucumán se encuentra mecanizada., esta tecnificación de la producción primaria provocó un aumento de la productividad del cañaveral y acercó los rendimientos medios de Tucumán a los de Jujuy y Salta, históricamente más elevados. La producción de caña se caracteriza por la diversidad de prácticas de manejo que emplean los agricultores durante el cultivo que va desde medidas conservacionista a modelos más tradicionales. Sin embargo, en la mayoría de los casos la aplicación de fertilizantes sigue mandatos tradicionales en lo que respecta a dosis, tipo de fertilizante y época de aplicación y la quema de rastrojo es una práctica que aún subsiste en el sector.

En el caso del maíz, el mismo presenta un área sembrada de 6,43 millones de hectáreas y una producción de 32,04 millones de toneladas (campaña 2016/2017). Nuestro país utiliza entre 1,2 y 1,4 millones de toneladas de maíz para obtener etanol combustible (452.900 m<sup>3</sup>) lo que representa un 4% de la cosecha total para la obtención de dicho agrocombustible, en el caso de que la totalidad de la producción de maíz se destinara a la obtención de etanol, esto significaría una producción teórica de 12.816.000 de m<sup>3</sup> (El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, en informes oficiales, supone que se requieren 2,5 toneladas de maíz para obtener un metro cúbico de etanol). La producción de maíz en la Argentina se encuentra principalmente en la zona de la Pampa Húmeda. Representa uno de los principales cultivos de nuestro país, las razones más destacables respecto al desarrollo de este cultivo pueden resumirse, entre otras, en un creciente uso de fertilizantes, una progresiva adopción de la siembra directa, el uso de riego complementario, el uso de nuevos híbridos con un mayor potencial de rendimiento y mejor comportamiento frente a plagas y enfermedades, y la utilización de materiales transgénicos que le han conferido resistencia a lepidópteros y, más recientemente, al glifosato.

## Potencialidades

- Los argumentos que sostiene la producción de bioetanol, en Argentina y muchos otros países, se basan en que es una opción de combustible líquido, con características que le permite ser utilizado como reemplazo o mezcla de nafta, posicionándolo como una energía alternativa al uso de los combustibles fósiles. A su vez es un combustible que ofrece ventajas en virtud de sus características físicas y químicas, que pueden ser resumidas como un líquido de baja densidad y alta fluidez con alto calor de combustión.
- La producción de etanol a partir de caña de azúcar en nuestro país se perfila como una fuerte actividad industrial. La Argentina presenta condiciones comparativas, provenientes de la producción agropecuaria y de la generación de materias primas, para un óptimo desarrollo de estos emprendimientos. En el mercado interno de agrocombustibles se viene priorizando la instalación y la consecuente actividad de plantas radicadas fuera del área núcleo pampeana, hecho que favorece a las economías regionales (Álvarez *et al.*, 2008). De esta forma se plantea un cambio de paradigma en el típico desarrollo industrial argentino, permitiendo la transformación de materias primas en origen. En el caso específico de la producción de bioetanol de caña de azúcar, esta cuestión es relevante a la luz de la existencia de históricos excedentes de esta materia prima, que han llevado a afectar negativamente el precio del azúcar en el mercado interno. Por otro lado, desde el punto de vista regional, se presenta como una manera de agregar valor a una producción primaria en la misma zona de producción, lo que incidiría en la generación de puestos de trabajo locales.
- Una de las ventajas ambientales que presenta el bioetanol, como consecuencia de su composición, es que la combustión de la gasolina con etanol y del etanol puro en motores, en comparación a las gasolinas típicas, produce menores emisiones de monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos y otros compuestos contaminantes. Al mismo tiempo, se elevan los aldehídos y, dependiendo de las características del motor, los óxidos de nitrógeno. Normalmente, los límites legales de emisión para vehículos se cumplen totalmente, y los beneficios resultantes del uso del etanol son un hecho bastante conocido (Siliceo, 2014). Es interesante observar que la motivación básica para la adición de etanol en la gasolina de diversas regiones de Estados Unidos, a partir de los años 1990, fue exactamente la mejora de la calidad del aire, asociada a la oxigenación promovida por el etanol (Yacobucci & Womach, 2002).

Según la Comunicación Brasileña para la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, con valores de 1994, la utilización de la energía de la caña redujo en un 13% las emisiones de carbono de todo el sector energético. En el caso de la producción de esa agroindustria en Brasil, en el año 2003, la sustitución de gasolina por etanol y la generación de energía con bagazo redujeron las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a 27,5 millones y 5,7 millones de toneladas, respectivamente (Goldemberg *et al*, 2008) A su vez, un equipo de investigadores del INTA Famaillá, Tucumán, determinó que la producción de caña de azúcar emite casi un 50 % menos de óxido nitroso.

- Asimismo, existe la posibilidad de producir bioetanol con otras materias primas; un estudio reciente de la FAO y el INTA, determinó que nuestro país tiene una disponibilidad de 6.6 millones de toneladas anuales de residuos derivados de las actividades agrícolas, forestales y foresto-industriales cuyo 80% podría utilizarse para generar energía; con 2 millones de toneladas, el cultivo de la caña de azúcar lidera el aporte (INTA, 2014).
- En el caso del bioetanol, a diferencia del biodiesel, la producción se encuentra destinada al mercado interno, aunque no se descarta la posibilidad de expandir la producción con destino al exterior, principalmente porque nuestro país es un gran productor de materias primas para la producción del mismo.

## **Limitaciones**

### *Técnico- mecánicas:*

- Una de las principales limitaciones de este combustible es que el etanol hidratado puro debe ser usado en motores fabricados o adaptados específicamente para este fin, en particular adoptando índices de compresión más elevados, buscando utilizar adecuadamente el octanaje más alto del etanol frente a la gasolina y obtener ganancias de eficiencia del 10%. Otros cambios deben ser efectuados en el sistema de alimentación de combustible y en la ignición, para compensar las diferencias en la relación aire-combustible y otras propiedades. Además, debe haber algunos cambios de materiales en contacto con el combustible, como tratamiento anticorrosivo de las superficies metálicas de los tanques, filtros y bombas de combustible y sustitución de tuberías o adopción de materiales más compatibles con el etanol. Actualmente, tras décadas de perfeccionamiento de motores especialmente fabricados para etanol, la tecnología automotriz ha evolucionado lo suficiente como para permitir que los vehículos a etanol



puro hidratado tengan desempeño, maniobrabilidad, condiciones de arranque en frío y durabilidad absolutamente similares a los motores a gasolina, especialmente en países con inviernos moderados. Con la intensa utilización de la electrónica aplicada a sistemas avanzados de control de mezcla y de ignición, a partir del 2003 se lanzaron comercialmente en Brasil vehículos con motores flexibles (flex-fuel), capaces de utilizar, sin cualquier interferencia del conductor, gasolina (con 20% a 25% de etanol), etanol hidratado puro o mezclas de esos dos combustibles en cualquier proporción, según exigencias de eficiencia y maniobrabilidad y atendiendo a los límites legales de emisiones de gases de escape (Joseph, 2007). No obstante, en nuestro país es una tecnología que aun se encuentra en etapas iniciales por lo que la manera más sencilla, frecuente e inmediata para utilizar el etanol como combustible es a través de las mezclas con gasolina en los vehículos ya existentes en el país, sin necesidad de efectuar modificaciones en los motores. En este sentido hay que plantearse que para poder sustituir a la nafta con etanol es necesario reemplazar o modificar los motores de los vehículos actuales, con las consecuencias socio-económicas que esto implica por ser una tecnología que no estará al alcance de toda la población por el gasto que implica. A su vez, la industria automovilística requiere de provisiones importantes de agrocombustibles para poder embarcarse de manera seria en el desarrollo de nuevos modelos que funcionen a partir de etanol (Bravo, 2006).

- Otro de los principales desafíos en la producción de bioetanol está vinculado a las altas inversiones necesarias para el incremento de la capacidad de procesamiento instalada y, especialmente, al tratamiento adecuado de los efluentes como la vinaza de caña de azúcar lo que implica requerimientos de infraestructura especial, transporte y almacenaje y principalmente energía. La vinaza es un subproducto de la fabricación de alcohol a partir de caña de azúcar, su composición química (alta salinidad y materia orgánica) y los altos volúmenes de producción le confieren un elevado poder contaminante de diques, ríos y arroyos pudiendo afectar tanto a la flora como a fauna que en estos se desarrolla (EEAOC, 2011), Por cada litro de etanol se producen, en promedio, 13 litros de vinazas por lo que es muy importante darle el tratamiento adecuado a este residuo que, de otra manera, resulta altamente contaminante.
- Con respecto a sus propiedades físico-químicas el etanol posee un 30% menos de densidad de energía que la nafta, lo que exige un consumo mayor de combustible. La nafta provee 42 Mjoul/kg, mientras que el etanol solo 29 Mjoul/kg, energéticamente,

un litro de nafta equivale a 1.5 litros de etanol (Álvarez *et al.*, 2008). La adición de un 10% de etanol a la nafta reduce el calor de combustión solamente en un 3.8 %, lo que es prácticamente similar en cuanto a combustible consumido, pero para poder ser usado en mayores proporciones o en forma pura se debería utilizar mayor cantidad de etanol para poder producir la misma cantidad de energía equivalente a la gasolina. Por otra parte, la alta volatilidad del etanol anhidro afecta la eficiencia de la mezcla y puede llevar a intermitencias en el suministro de combustible al motor y a pérdidas por evaporación, la elevada afinidad química que posee el etanol por el agua, en virtud de su estructura molecular, puede generar problemas en la correcta operación del motor.

#### *Cambios en el uso del suelo:*

- La capacidad de extender en forma significativa el área sembrada con caña de azúcar y aumentar los volúmenes de producción de bioetanol a partir de dicha materia prima en el NOA se haya bastante limitada por distintos motivos. Se estima que el área en esa región podría crecer aunque no significativamente y que la producción de alcohol de caña también podría incrementarse a expensas de una reducción en la producción de azúcar para exportación, o extendiendo el área hacia zonas no tradicionales. Existen estudios que determinan que hay alrededor de 5 millones de hectáreas aptas para expandir el cultivo de caña de azúcar en Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones, el norte de Santa Fe y en algunos sectores no tradicionales del NOA, lo que significaría aumentar más de catorce veces la actual superficie destinada a este cultivo, y lo que supondría una producción teórica de 3300 millones de litros, esta cifra potencial para la expansión del cultivo fue determinada por el Instituto de Clima y Agua del INTA Castelar mediante la utilización de sistemas de información geográfica y herramientas de análisis espacial que permitieron considerar factores climáticos y edáficos. Estas investigaciones se centran en el manejo del cultivo, genética, sistemas de riego e implementación de maquinarias para cultivo y cosecha, tanto para zonas tradicionales como para nuevas áreas potenciales (Valeiro, 2014). Frente a esta situación se deben considerar los peligros relacionados con el cambio en los usos del suelo, como el deterioro de las tierras, el aumento en el uso del agua, el efecto sobre la oferta alimentaria, la concentración de la propiedad y exclusión de los pequeños y medianos productores y el efecto negativo sobre la biodiversidad. Impactos como la pérdida de áreas naturales, la contaminación de suelos y aguas y los desbalances en el uso del territorio indican que los monocultivos orientados a la generación de bioenergía avanzan en sentido opuesto al desarrollo sostenible (Lal &

Pimentel, 2007). A su vez se debe tener en cuenta no solo el avance sobre ecosistemas naturales del cultivo en cuestión, sino el efecto que produce en forma indirecta al desplazar otros cultivos; como ha sucedido en Brasil donde estiman que el bioetanol será indirectamente responsable de un 41% de la deforestación de la Amazonía en el período comprendido entre 2007-2020 (Lapola *et al.*, 2010).

Por último, no se puede dejar de nombrar la problemática hídrica derivada de la utilización de agua para riego y no para consumo humano, así como la contaminación de las napas por la utilización de agroquímicos (Montico *et al.*, 2012). De manera global, el agua destinada a la producción de agrocombustibles está estimada en 44 km<sup>3</sup>, es decir, 2% del total del agua de irrigación, bajo las actuales condiciones de producción, se necesita un promedio de 2.500 litros de agua (cerca de 820 litros de agua de irrigación) para producir un litro de agrocombustible (la misma cantidad utilizada en promedio para producir comida suficiente para una persona durante un día). De acuerdo al estudio del IWMI sobre agrocombustibles, en caso de que continúen las tendencias actuales, para el 2030 el sector de los agrocombustibles representaría tres veces la actual superficie para la producción de agrocombustibles, y el 5% del uso de agua para irrigación (FAO, 2014) La producción de más cultivos para agrocombustibles afectará tanto a la calidad como a la cantidad de agua, el avance de cultivos como en este caso la caña de azúcar que posee altos requerimientos hídricos, sobre aéreas potenciales, implicará en varios casos el uso complementario de sistemas de riego. La producción de agrocombustibles requiere del uso de agua en dos etapas: en el crecimiento de las materias primas y en el proceso de producción industrial de agrocombustibles; en la primera etapa, hay que tener en cuenta que la agricultura es la actividad humana que hace un mayor uso del agua para consumo y que a su vez existen varios efectos sobre los recursos hídricos generados por el modelo de producción actual, principalmente por el uso creciente de fertilizantes y plaguicidas, entre ellos, el aumento de la contaminación de los cuerpos de agua, la eutrofización (entendida como el enriquecimiento de nutrientes) y la sedimentación, procesos que afectan la calidad de agua. A su vez debemos mencionar la disminución de los acuíferos por el aumento de las superficies bajo riego como consecuencia de una velocidad en el uso de agua mayor que la capacidad de recarga. Si bien estos efectos no son causa directa de la producción de los agrocombustibles, bajo el actual modelo de producción de los mismos, se verían acrecentados, más aun si se tiene en cuenta el aumento de superficie necesario para satisfacer las demandas de combustibles. En la etapa de

producción del agrocombustible hay que tener en cuenta que también existe un consumo de agua y que a su vez se producen deshechos, que si se realiza un mal manejo terminan contaminando los cuerpos de agua, como en el caso de la vinaza en la caña de azúcar.

Desde la perspectiva de Argentina, caracterizada por ser productor y exportador de alimentos con alta eficiencia y productividad agrícola y con disponibilidad de tierras de calidad; hay quienes sostienen que los futuros incrementos de la producción surgirán en base a la difusión de técnicas que permitan altos rendimientos (ya aplicadas en algunas zonas pero no en todas) y, en menor medida, por el aumento en el área sembrada (INAI, 2014), pero esto está en relación con otro tema a analizar, el de la eficiencia energética, ya que la difusión de estas técnicas implican un aumento en la utilización de insumos provenientes de combustibles fósiles.

#### *Eficiencia energética:*

- La conversión de la biomasa en etanol, o cualquier otro bioenergético, requiere insumos energéticos adicionales, que usualmente están presentes en forma fósil. Esto supone los insumos energéticos requeridos para: el cultivo, el traslado y la conversión de tal producción en etanol y el transporte del mismo a las unidades de mezclado para su posterior distribución. La energía total invertida en el proceso es la suma de energía, tanto directa como indirecta invertida en campo, transporte campo-planta, empleada en proceso industrial, transporte planta-mezcladora. La energía obtenida es la contenida en el etanol y subproductos. A partir de lo anterior, se han obtenido algunos datos del proceso de obtención de etanol: Pimentel & Patzek (2005), utilizando datos de los 50 estados (EEUU) y tomando en cuenta todos los “inputs” de energía, concluyeron que la producción de etanol no provee un beneficio energético neto, por el contrario, revelaron que requiere más energía fósil producirla que la que produce, dando valores de eficiencias menores a uno y, en algunos casos levemente superiores a la unidad, esto estaría significando, que se consume más energía para obtener una unidad de energía proporcionada por la de la biomasa. Pero aun en los casos en que la eficiencia energética sea superior a la unidad se trata simplemente de un leve aumento, basado ni más ni menos que en el consumo de combustibles fósiles. Otros estudios demuestran la misma tendencia con valores de eficiencia energética para caña de azúcar de 3.64 en Brasil (Oliveira *et. al.* 2005); 1.48 EEUU y Brasil 2.29 (Pimentel & Patzek, 2008). Esto significa que en el mejor de los casos, para etanol producido con caña de azúcar en Brasil, por cada unidad de energía que se incorpora al sistema, (la cual en la actualidad es energía fósil), se generan 3.64

unidades de bioenergía, de los cuales a su vez una unidad deberá ser utilizada para la próxima campaña, por lo que queda 2.64, valor levemente superior a la unidad. Trabajos, realizados en la Región Pampeana, estiman la dependencia de recursos no renovables del sistema de producción de etanol a base de maíz donde un 41% de la energía utilizada para obtener 1 MJ de energía proviene de fuentes no renovables (Ferraro, 2008). Además de esto, la alta dependencia de combustibles fósiles se relaciona, sin dudas, con todos los problemas ecológicos y sociales que son fuente de insustentabilidad de los sistemas agrícolas. Los resultados obtenidos en los citados trabajos señalan claramente la inviabilidad de sustituir petróleo por agrocombustibles desde el punto de vista energético y con este modelo de agricultura.

#### *Cambio climático:*

- Independientemente de la biomasa utilizada para su producción, el principal objetivo del uso del bioetanol como combustible es la sustitución de derivados de petróleo, lo que permite disminuir la dependencia de esos recursos fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la proporción en la que un agrocombustible puede reemplazar a un combustible fósil depende, especialmente, de su modo de producción. Para el adecuado cómputo de las energías implicadas en el proceso de producción agroindustrial, se deben considerar las emisiones de GEI asociadas a su ciclo de vida, resultantes no sólo de la quema de los combustibles fósiles, sino también de aquellas provenientes de otros efectos (por ejemplo, en la producción y uso de fertilizantes). Es importante notar que, en principio, todo el CO<sub>2</sub> liberado en la quema de productos de la biomasa se recicla por medio de la fotosíntesis, durante el crecimiento de la biomasa en el ciclo productivo siguiente, pero la parte correspondiente a los combustibles fósiles consumidos en la producción del bioetanol genera un incremento neto de la cantidad de esos gases en la atmósfera (BNDES, 2008). La emisión de gases de efecto invernadero tiene lugar también en otras fases de la producción de biocombustibles tales como la producción de fertilizantes, plaguicidas y combustible empleados en la agricultura, la elaboración de productos químicos, el transporte, la distribución y hasta el uso final.

Por otro lado, se han planteado algunos cuestionamientos sobre el impacto del cambio de uso de la tierra para la producción de materias primas para agrocombustibles, especialmente en términos de emisiones de GEI. Se cree que, dependiendo de la vegetación que existía antes en el área utilizada para la producción de agrocombustibles,

la perturbación provocada por el cambio de uso del suelo podría desprender una cantidad de carbono, antes “capturado” en la vegetación y en el suelo, cantidad lo bastante alta como para comprometer el beneficio ambiental. Varios estudios han señalado las implicancias negativas de tales cambios de uso de la tierra directa e indirecta en términos de pérdida de biodiversidad y gases de efecto invernadero (Searchinger *et al.*, 2008; Fargione *et al.*, 2008; Gibbs *et al.*, 2008). La mayoría de los estudios han puesto de manifiesto que la producción de agrocombustibles de primera generación a partir de materias primas actuales, resulta en una reducción de las emisiones del orden del 20-60% en comparación con los combustibles fósiles, siempre que se empleen los sistemas más eficientes y que se excluya el carbono originado por el cambio del uso de la tierra. A la hora de examinar los balances de gases de efecto invernadero, los datos de las emisiones provenientes del cambio del uso de la tierra son cruciales para que los resultados sean completos y exactos (FAO, 2008). El reemplazo de bosques y tierras marginales y la rotación de cultivos con el fin de producir agrocombustibles se consideran actividades que producen emisiones de GEI por cambio en el uso de la tierra (de Souza *et al.*, 2010). Tales emisiones tienen lugar en las primeras fases del ciclo de producción de agrocombustibles y, en función de su magnitud, pueden llegar a requerir muchos años para ser compensadas por los ahorros de emisiones conseguidos en fases subsiguientes de producción y uso. Si se incluyen los cambios de uso de la tierra en el análisis del balance de las emisiones de GEI, las emisiones de gases de efecto invernadero para algunas materias primas y sistemas de producción de agrocombustibles podrían ser mayores incluso que las de los combustibles fósiles; Fargione *et al.* (2008) estimaron que la conversión de selvas lluviosas, turberas, sabanas y pastizales para producir etanol y biodiesel en Brasil, Indonesia, Malasia o los Estados Unidos libera al menos 17 veces más dióxido de carbono que lo que estos agrocombustibles ahorran anualmente al sustituir a los combustibles fósiles. A su vez, se debe tener en cuenta, no solo el cambio de suelo en forma directa sino también que puede ocurrir que tierras ya cultivadas sean utilizadas para la producción de agrocombustibles lo que podría desencadenar la expansión de la producción de cultivos para otros usos en otros lugares, generando el mismo efecto.

Otro punto a tener en cuenta es la práctica de quema realizada en el cultivo de caña de azúcar; lamentablemente la quema en los cañaverales y del bagazo en los campos es

una cultura arraigada y un problema de larga data en las provincias del NOA, especialmente porque producen daños al medioambiente, algunos irreversibles.

#### *Competencia con alimentos:*

- La producción agrícola de la biomasa requiere cultivos de grandes extensiones de tierra, las que podrían ser utilizadas con otro fin, por ejemplo para alimentación. El maíz, *Zea mays*, es una de las especies de alta importancia en la dieta humana y su uso se ha extendido a la alimentación animal y producción de agrocombustibles (Ferraro, 2008). En este sentido, si vemos una tendencia creciente de la utilización de alimentos a nivel internacional para la producción de energía, el aumento de los precios de los alimentos tendría un nuevo condicionante que lo tendería continuamente al alza. Al utilizarse suelo agrario para el cultivo directo de agrocombustibles, en lugar de aprovechar exclusivamente los restos de otros cultivos, se ha comenzado a producir un efecto de competencia entre la producción de comida y la de agrocombustibles, resultando en el aumento del precio de la primera (Hernández & Hernández, 2008). . Aunque existe un consenso general respecto a las repercusiones de los biocombustibles sobre los precios de los alimentos, su magnitud y la medida en que incrementan la volatilidad de los precios sigue suscitando controversias (Abbott, 2012). Los biocombustibles establecen un vínculo entre los mercados alimentarios y energéticos. La repercusión de la volatilidad puede ser diferente si se produce en una dirección o en otra. La existencia de esos nexos, así como la correlación inducida entre los precios, se reconocen de forma generalizada. Sin embargo, el grado de correlación es controvertido. Además, la correlación a corto plazo (los efectos sobre la volatilidad) y a largo plazo es bastante diferente y depende en gran medida de los distintos procesos y materias primas para la producción de biocombustible. (FAO, 2008).

#### *Socio-económicas:*

- El inmenso territorio argentino tiene todavía muchas zonas aptas para el cultivo de caña de azúcar y producción de etanol sin desarrollar. Este hecho no ha pasado desapercibido al mercado y a la industria nacional ya que actualmente hay una serie de proyectos para instalar establecimientos industriales productos de bioetanol. Se espera que la adopción de los agrocombustibles dé lugar a nuevas industrias, mayor actividad económica y aumento de los ingresos para quienes participan en la producción de materias primas y la elaboración final. Sin embargo, los cultivos energéticos no están dirigidos a promover la agricultura familiar o la pequeña ni mediana agricultura. Las

cantidades de materia prima que se requieren para abastecer la demanda de combustibles son tan grandes, que un plan nacional de agrocombustibles solo puede basarse en monocultivos a gran escala (Bravo, 2006), monocultivos que requieren un uso de gran cantidad de insumos que implican una fuerte inversión. Por lo tanto, es muy cuestionable decir que los cultivos energéticos promoverán el desarrollo rural, al contrario, constituyen un atentado a la soberanía alimentaria del país, porque las tierras que tradicionalmente han sido utilizadas para la producción de alimentos, sobre todo aquellas ligadas a suplir las necesidades alimenticias más básicas, serán usadas para producir energía, bajo un modelo agrícola que excluye a los pequeños productores. Más allá de los graves problemas ambientales, el modelo de producción en el que se basan los agrocombustibles, se han generado problemas sociales, provocando la exclusión de un gran número de agricultores, ya que para adecuarse al modelo, es necesario disponer de un capital importante para adquirir la maquinaria agrícola y comprar los fertilizantes y pesticidas. Así, los productores más pobres, quedaron relegados de esta nueva agricultura. Con el paso de los años, este modo agrícola industrial llevó a una disminución en el número de establecimientos agropecuarios no sólo por la disminución de “pequeños productores” sino por la concentración de las tierras productivas en las manos de los “grandes”. De la manera en la que actualmente se están promocionando los agrocombustibles, estos problemas se verán acrecentados.

### **Conclusiones bioetanol**

El análisis de este agrocombustible no se aleja demasiado de lo que es el del biodiesel, si bien tiene un menor producción y desarrollo en nuestro país y se destina al consumo interno, varias son las limitaciones que lo alejan de posicionarse como un sustituto fuente a los combustibles fósiles, la baja eficiencia energética y el alto consumo de insumos provenientes de combustibles fósiles lo hace inviable energéticamente, los cambios en el uso del suelo y sus implicancias ambientales, los conflictos que puede generar el uso de cultivos para alimento humano en la producción de agrocombustibles, son algunos temas analizados y por lo que se puede concluir que el bioetanol no representaría una solución al agotamiento de los combustibles fósiles y que es insustentable su producción bajo los modelos actuales de agricultura.



## CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

La actual dependencia de combustibles fósiles que experimenta la matriz energética mundial ha provocado una búsqueda constante de fuentes alternativas de energía, para poder dar solución al ya anunciado agotamiento del petróleo y a la actual crisis energética y ambiental. Dentro de estas energías una de las más promocionadas y desarrolladas en los últimos tiempos han sido la de los agrocombustibles, principalmente porque se ven como la alternativa a los combustibles líquidos en las distintas actividades humanas. Este escenario se ve reflejado en nuestro país en donde hace varios años, principalmente desde la promulgación de la Ley de Biocombustible, se ha producido un gran desarrollo y crecimiento de los agrocombustibles, en especial del biodiesel y el bioetanol. El análisis realizado hasta aquí, basado en una revisión de bibliografía, ha permitido dar una visión global a cerca del tema. Por un lado, las ventajas enunciadas en el trabajo nos dan una idea de por qué los agrocombustibles son una alternativa de gran desarrollo y rápida adopción en la actualidad, pero también existen una serie de limitaciones que pone en duda su producción sostenible. No se cuestiona la posibilidad de obtener agrocombustibles en sí, creo que la posibilidad de obtener combustible líquido a partir de biomasa es una realidad y una gran ventaja, pero se debe tener en claro que no es la solución a los problemas actuales.

A partir de lo analizado hasta aquí he podido dar respuesta a las distintas preguntas planteadas en el proyecto; por un lado si la producción de agrocombustibles es posible a gran escala, la respuesta es no, la baja eficiencia energética de los sistemas productivos actuales basados en un modelos productivista y convencional, implican un alto consumo de insumos que conllevan un gasto de energía (directa e indirecta) que hace ineficiente la producción de agrocombustibles, es decir se intenta producir energía a base de un alto consumo de la misma. Por otro lado, la gran demanda energética, implica que se tenga que destinar la mayor parte de la producción de cultivos para obtención de energía, y es más, que la producción de los mismos deba aumentar ya sea aumentando la superficie implantada o con aumentos en la producción (con incorporación de más tecnología e insumos, es decir, con más consumo de energía), esto como ya se ha visto implica una serie de problemas ecológicos, socioeconómicos y culturales, como el avance de la frontera agrícola hacia ecosistemas más frágiles, pérdida de biodiversidad, contaminación, degradación de suelos, pérdida de soberanía alimentaria y aumento de

precios de alimentos con el menor acceso a los mismos por parte de los sectores de la sociedad más vulnerables.

Con respecto a si los agrocombustibles son capaces de reemplazar a los combustibles fósiles, es imprescindible disminuir el nivel de consumo de energía asociado al estilo de vida que propone el actual sistema socioeconómico, pues es un hecho que no es posible encontrar aún una energía renovable capaz de sustituir el creciente consumo de petróleo. Si bien se toma conciencia de que nos encontramos frente a una crisis ambiental y energética, las soluciones que se proponen no representan un cambio sustancial para hacer frentes a estas crisis, para ello es necesario buscar soluciones globales y a largo plazo. Solamente cambiando nuestro estilo de vida, y en este caso particular el modo de hacer agricultura podremos disminuir el gasto energético, y por consiguiente, abastecernos de fuentes de energía renovables sin ocasionar perjuicios al resto de las generaciones. Hay que tener presente que es una realidad que los combustibles fósiles se van a acabar en un futuro no muy lejano y que, sin embargo, la humanidad seguirá haciendo agricultura, el interrogante es de qué forma se realizará.

Entre las opciones existentes para mitigar la crisis ambiental y energética que se están debatiendo en la actualidad, los agrocombustibles son una alternativa importante pero, en muchos casos, la mejora de la eficiencia y la conservación energéticas, el aumento de la captura de carbono mediante la reforestación, los cambios en las prácticas agrícolas o el empleo de otras formas de energía renovable pueden ser medidas más rentables energéticamente.

La hipótesis planteada al inicio del trabajo “Teniendo en cuenta el enfoque agroecológico los agrocombustibles no representan una solución a la crisis energética y ambiental actual” se reafirma, los agrocombustibles pueden ser una alternativa más que forme parte de la solución problema de las crisis ambiental y energética, pero no son la única solución y a su vez deben verse desde un enfoque holístico teniendo en cuenta todos los factores que influyen en su producción y los efectos que estos tienen sobre la sustentabilidad del sistema.

La agricultura es un sector clave en la lucha contra el cambio climático y el panorama energético actual. El único modo de detener el calentamiento global es una transición del modelo de agricultura industrial a lograr un manejo sustentable de los AE, optimizar los flujos positivos y minimizar las consecuencias negativas. Al considerar el aporte y la producción de energía de un sistema agrícola en particular, se vuelve claro que la

eficiencia energética puede ser mejorada de gran manera cuando se comprende cómo fluye la energía a través del sistema, lo que sugiere que la producción agrícola debería adoptar prácticas que conserven más energía, y sean ecológicamente adecuadas, social y culturalmente aceptables y económicamente viables. Además de conservar energía fósil, las prácticas agrícolas sustentables deben dar prioridad al uso de energía de fuentes renovables y a la conservación del suelo, el agua y los recursos biológicos. El enfoque de la Agroecología es de suma importancia, ya que propone utilizar los procesos propios del ecosistema para disminuir el uso de insumos, a través del diseño de sistemas diversificados en los que se obtiene una buena productividad general.

### **Sugerencias**

Lo primero que se debe pensar a la hora de querer producir agrocombustibles, es que estos generen más energía de la que utilizan para ser producidos. Ya hemos mencionado que esta energía proviene principalmente de insumos que son utilizados para generar las condiciones propicias para el desarrollo de los cultivos (fertilizantes, plaguicidas). Desde este punto, lo principal sería producir cultivos adaptados a la zona de producción, es decir, cultivos nativos o locales, cuyas necesidades se adapten a las condiciones agroecológicas de la zona, y no tratar de adaptar la zona a los cultivos a través del mayor uso de insumos, para lograr expresar su potencial. Por otro lado, no utilizar un único cultivo como materia prima sino diversificar las materias primas con diferentes cultivos, aumentando la biodiversidad.

Es necesario realizar cambios de enfoques en la investigación y en la tecnología para desarrollar sistemas productivos con menor uso de insumos, basados en tecnologías que potencien los procesos ya existentes en los ecosistemas. El agricultor puede optar por técnicas, materiales y productos muy diversos teniendo una importante repercusión sobre el consumo energético total: - Por un lado, el uso de fertilizantes tiene un gran impacto en la eficiencia energética del sistema, un balance de nutrientes que permita una disponibilidad y flujo adecuado de los mismos, el cambio de uso de abonos inorgánicos a orgánicos, el manejo adecuado de la materia orgánica que favorezca su conservación, o utilizar cultivos que permitan fijar la mayor cantidad de nutrientes en forma natural (como el carbono y el nitrógeno), tiene una importantísima repercusión energética; - generar y aplicar diseños y estrategias de manejo que favorezcan las relaciones positivas entre las poblaciones y comunidades presentes en el agroecosistema y disminuyan las negativas, a

fin de evitar y minimizar el uso de insumos innecesarios como plaguicidas, para ello es necesario comprender el funcionamiento del agroecosistema y de las interacciones ecológicas que se dan en el mismo para priorizar estrategias que tiendan a aumentar y conservar los enemigos naturales de presencia espontánea y a modificar la calidad del recurso para que no sea preferido por las plagas; - lograr un adecuado manejo de la biodiversidad en los agroecosistemas, objetivo prioritario a la hora de diseñar sistemas sustentables, esto puede lograrse usando estrategias como las rotaciones de cultivos, policultivos, cultivos de cobertura, sistemas agroforestales, entre otros.

Es importante tomar conciencia de que muchos insumos se pueden reemplazar con procesos naturales mediante estrategias agroecológicas, y de esta forma se puede reducir el consumo de energía fósil, logrando mayores valores de eficiencia y disminuyendo la dependencia a fuentes no renovables de energía.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Abbott, P.** 2012. Biofuels, binding constraints and agricultural commodity price volatility. Paper presented at the NBER conference on “Economics of Food Price Volatility”, Seattle, USA.

**Altieri, M.A.** 1987. Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture, Westview Press, Boulder. Colorado 227pp.

**Altieri, M. A.** 2000. Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley. Ecología política N° 38 pp. 25-35.

**Altieri, M. A.** 2001. Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable cap: 2 Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. Pp. 27-34

**Altieri, M.A.** 2009. Reflexiones sobre el estado de la agricultura a base de transgénicos y agrocombustibles en América Latina. En América Latina la transgénesis de un continente. Visión crítica de una expansión descontrolada. 1ª Edición. Red por una América Latina Libre de Transgénicos (RALLT), Red de Acción de Plaguicidas de América Latina (RAP–AL) y Sociedad Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), pp. 6-13.

**Altieri, M. A. & E. Bravo.** 2007. La tragedia social y ecológica de la producción de agrocombustibles en el continente Americano. Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley.

**Altieri, M. A. & C. Nicholls.** 2000. Agroecología, Teoría y práctica para una agricultura sustentable. 1ª Edición Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 250 pp.

**Altieri, M. A. & C. Nicholls.** 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia sociológica. Artículo para RIO+20 SOCLA 10 Pp.

**Altieri, M. A. & V. Toledo.** 2010. La Revolución Agroecológica en América Latina-rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. SOCLA pp. 163-202.

**Alvarez, S., P. Evelson & A. Boveris.** 2008. Etanol: El combustible del futuro. En: Encrucijadas, no. 45. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/> Última visita 17 de Julio de 2018.

- Araújo, J. M.M.** 2015. Incidencia de técnicas agroecológicas en la obtención de aceites vegetales destinados a la producción de biocombustibles. Congreso Latinoamericano de Agroecología, La Plata, Argentina.
- Ávila Díaz, A. J. & Y. Carvajal Escobar.** 2015. Agrocombustibles y soberanía alimentaria en Colombia. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana. Geografía., Volumen 24, Número 1, pp. 43-60.
- Bayliss-Smith, T.P.** 1982. The ecology of agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 112 pp.
- BCR.** 2018. La visión del USDA sobre biodiesel y el bioetanol en Argentina. Informativo semanal Bolsa de Cereales de Rosario Año XXXV - N° Edición 1848.
- Benndorf, R., S. Federici, C. Forner, E. Rametsteiner, M.J. Sanz, & Z. Somogy.** 2007. Including land use, land-use change, and forestry in future climate change, agreements: thinking outside the box. Environmental Science & Policy. Vol. 10, num. 4, pp. 283-294.
- BNDES.** 2008. Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social CGEE Centro de Gestión y Estudios Estratégicos (Coords.). Bioetanol de caña de azúcar: Energía para el desarrollo sostenible. Río de Janeiro, BNDES, 320 pp.
- BP.** 2017. Statistical Review of World Energy Edición N°66. June 2017. En <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf> Último acceso: abril 2018.
- Bravo, E.** 2008. Encendiendo el debate sobre biocombustibles: cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Ed: Capital Intelectual 135pp.
- Brent, D. & J.W. Yacobucci.** 2004. Fuel Ethanol: Background and Public Policy Issues. Congressional Research Service ~ The Library of Congress.
- Canaki, M.** 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. Bioresources Technology. 98:pp.183-190.
- Carrizo, S. C., R. Didier & S. Velut.** 2009. Biocombustibles en Argentina, Brasil y Colombia: avances y limitaciones. Geograficando: Revista de Estudios Geográficos N° 5, pp. 63-82.
- Castejón, F.** 2004. ¿Vuelven las nucleares? El debate sobre la energía nuclear. Madrid: Ediciones Talasa.
- Castro-Martínez, C., L. Beltrán-Arredondo & J. C. Ortiz-Ojeda.** 2012. Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética? Ra Ximhai,

septiembre - diciembre, Vol. 8, Número 3 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. Pp. 93-100.

**CESPA.** 2007. Biocombustibles: expansión de una industria naciente y posibilidades para Argentina. Documento de Trabajo N°13. Facultad de Ciencias Económicas UBA.

**Committee on Agriculture - Food and Agriculture Organization.** 2007. Environment and agriculture. Committee on Agriculture, 20th session. Roma: FAO

**Connemann, J & J. Fischer.** 1999. Biodiesel in Europe 2000, biodiesel processing, technologies and future market development. Alemania. 1999.

**Cox, G.W.** 1984. The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds). Agricultural Ecosystems: Unifying concepts. J Willey & Sons. NewYork: 187-208.oulder, CO, USA, 433 pp.

**Craig, D.C. & G. Sehlke.** 2012. Sustainability and energy development: influences of greenhouse gas emission reduction options on water use in energy production. Environmental Science and Technology. 46: pp. 3509-3518.

**Dazhong W. & D. Pimentel.**1990. Energy flow in Agroecosystems of Northeast China. In SR Gliessman (Ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer-Verlag: pp.322-336.

**De Souza, S. P, S. Pacca, M. De Ávila & J.L. Borges.** 2010. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. Renewable Energy. Vol. 35, núm. 11, pp. 2552-2561.

**Di Paola, M.** 2014. Los Biocombustibles en Argentina. Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), pp 1-24.

**Donald, P.F.** 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. Conservation Biology N°18: pp17-37.

**Ecojuornal.** 2017. Mercado de biocombustibles Argentina exportará biodiesel por US\$ 450 millones en todo 2018. Por Roberto Bellato.

**EEAOC.** 2016. Vinaza alternativa de aplicación. Agroindustriales, estudios ambientales. Tucumán Argentina.

**El mundo.es** 2007. La UE acuerda que el 20% de su consumo en 2020 proceda de energía renovable. Cumbre de los 27 sobre el cambio climático disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2007/03/09/ciencia/1173443408.html> Última visita 17 de Julio de 2018.

- Estenssoro Saavedra, F.** 2009. Medio Ambiente e Ideología. La discusión pública en Chile, 1992-2002. Santiago, Ariadna/USACH.
- Estrada Gasca, C.** 2013. Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. Instituto de Energías Renovables. Revista Mexicana de Física 59: pp.75.
- Falasca, S.** 2012. Cultivos energéticos para biocombustibles de 1ª y 2ª generación: la aptitud agroclimática Argentina. Editorial Académica Española. 218 pp.
- FAO.** 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación Roma. 133pp.
- FAO.** 2013. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: 2013 una mirada hacia América Latina y el Caribe. Santiago, Chile 167 pp.
- FAO** 2017. Situación del mercado de los Biocombustibles 2017-2025 OCDE/FAO (2017), Éditions OCDE, París. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2017-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es). Última visita abril 2018.
- Fargione, J., J. HILL, D. TILMAN, S. POLASKY & P. HAWTHORNE.** 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science. Vol. 319, núm. 5867, pp. 1235-1238.
- Ferraro, O. D.** 2008. Evaluación energética de la producción de etanol en base a grano de maíz: un estudio de caso de la región Pampeana (Argentina). Ecología Austral. (18):pp 323-336.
- Flores, C. S. Sarandón & M.J. Iermanó.** 2004. Eficiencia energética en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología; Año: 2007 vol. 2 pp. 1060-1064
- Flores C., S.J. Sarandón & M.J. Iermanó.** 2007. Eficiencia energética en sistemas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología 2 (1): pp.1060-1063.
- Gerpen, J.V.** 2005. Biodiesel processing and production. Fuel Process and Technology. 86: pp. 1097-1107.
- Gibbs, H. K., M. Johnston & J.A. Foley.** 2008. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropic: the effects on changing yield and technology. Environmental Research Letters. Vol. 3, pp. 1-10.
- Gliessman, S.R.** 1998. Agroecology: ecological process in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 357 Pp.



- Gliessman, S.** 2001. A energética dos agroecossistemas. En: Agroecologia. Processos ecológicos em agricultura sustentável. 2ª Edição. Editora da Universidade. Rio Grande do Sul, Brasil. Capítulo 18: pp.509-538.
- Goldemberg, J. & P. Guardabassi.** 2009. Are biofuels a feasible option? Energy Policy N°37: pp10-14.
- González, J & E. Valero.** 2011. Energía y desarrollo humano. Un acercamiento a los biocombustibles. Revista Electrónica Intec, 1: pp. 66-84.
- Grönroos, J.** 2006. Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: pp.109-118.
- Guadagni, A. A.** 2007. Panorama energético mundial y argentino. Conferencia Jornada sobre Biocombustibles. Buenos Aires, Argentina. Anales de la ANAV 2007 trabajos del tomo LXI pp. 229-246 Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/27750>. Última visita abril 2018.
- Hamelinck C., R. Suurs & A. Faaij.** 2005. Internacional bioenergy transport costs and energy balance. Biomass and Bioenergy, 29:pp114-134.
- Hernández, M., & J. Hernández.** 2008. Verdades y mitos de los biocombustibles. Elementos N° 71, pp15-18.
- Hilbert, J. A.** 2007. Bioenergía en el actual contexto internacional y nacional oportunidades y desafíos. Jornada sobre Biocombustibles 13 de septiembre de 2007, Buenos Aires, Argentina. Anales de la ANAV 2007 trabajos del tomo LXI pp. 247-276 Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/27751>. Última visita abril 2018.
- Hilbert, J. A.** 2013. Sustentabilidad de los biocombustibles, El planteo agronómico del uso de los residuos de origen vegetal en la generación de energía. Artículo de divulgación programa nacional de bioenergía. INTA.
- Hilbert, J.A., R. Sbarra & M. López Amorós.** 2012. Producción de biodiesel a partir de aceite de soja: Contexto y evolución reciente, Ediciones INTA.
- IICA.** 2012. Situación y desempeño de la agricultura en ALC, desde la perspectiva tecnológica. San José, C.R.: IICA. 92 pp.
- Iermanó, M.J. & S. J. Sarandón.** 2009. ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. Revista Brasileira de Agroecologia 4: pp.4-17.
- Iermanó, M. J.** 2007. Análisis de la de la producción de biodiesel como combustible alternativa a los combustibles fósiles, Sus consecuencias para la sustentabilidad de los

agroecosistemas en la República Argentina. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata. 84 pp.

**Instituto para las Negociaciones Agrícolas Internacionales (INAI).** 2014. Escenario de Referencia Agroindustrial Mundial y Argentino al 2022. Buenos Aires.

**INTA.** 2014. Bioetanol: la próxima generación de energía. INTA informa digital disponible en <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=23463>. Última visita 17 de Julio de 2018.

**Joseph Jr.** 2007. H. Flex fuel technology in Brazil. São Paulo: Anfavea, Energy and Environment Division.

**Khanna, M., C.L. Crago, & M. Black.** 2011. Can biofuels be a solution to climate change? The implications and land use change-related emissions for policy. *Interface Focus*. 1: pp. 233-247.

**Lal, R. & D. Pimentel.** 2007. Biofuels from crop residues. *Soil & Tillage Research*, 93: pp237-238.

**Lapola, D. M., R. Schaldach, J. Alcamo, A. Bondeau, J. Koch, C. Koelking, & J. Priess.** 2010. "Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil, Proceedings of the National Academy of Sciences", 107, 8. Pp. 3388-3393.

**Lenoir, C.** 2002. Análisis de la producción de Biodiesel [en línea]. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/Biodiesel/Biodiesel.htm> Última visita 17 de Julio de 2018.

**López, G.** 2005. Biodiesel: perfiles de negocios. Presentación en diapositivas. Disponible en [http://www.secyt.gov.ar/coopinter\\_archivos/03.ppt](http://www.secyt.gov.ar/coopinter_archivos/03.ppt). Última visita 17 de Julio de 2018

**Ministerio de Agroindustria Republica Argentina.** 2017. Sector Biodiesel. Disponible en: [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/.../000510\\_Biodiesel%20-%202017.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/.../000510_Biodiesel%20-%202017.pdf) Última visita 17 de Julio de 2018.

**Monsanto y SAGPyA.** 2001. Seminario de Biodiesel "El futuro del pasado", Santa Fe 2001pp 7. Disponible en: <https://www.biodiesel.com.ar/download/Master.pdf> Última visita 17 de Julio de 2018.

**Montico, S., N. Di Leo, B. Bonel, J. Denoia & M. Costanzo.** 2012. Biocombustibles: vínculos entre las políticas de gestión territorial y los impactos ambientales y sociales. *Ciencia docencia tecnologia*. no.44 Concepción del Uruguay *versión On-line* ISSN 1851-1716 Última visita 17 de Julio de 2018.

**Montilla, F.** 2014. "Biocombustibles-Inversión Mundial en biocombustibles". [En línea Dirección URL: <https://www.econlink.com.ar/biocombustibles-inversion-mundial-biocombustibles> Última visita 17 de Julio de 2018.

**Morelos Gómez, J.** 2016. Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. Universidad ICESI, Colombia. Estudios Gerenciales 32: pp. 120–126. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.01.001> Última visita 17 de Julio de 2018.

**Moser, B.R., G. Knothe, S.F. Vaughn & T.A. Isbell.** 2009. Production and evaluation of biodiesel from field pennycreebs (*Thlaspi arvense* L.). Oil, Energy Fuel. 23:pp. 4149-4155.

**Nabi, M.N., A.S. Akhter & M.M.Z. Shahadat.** 2006. Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends. Bioresources Technology. 97:pp.372-378.

**OCDE** 2009. **Organization for economic cooperation and development.** Factbook 2009: Economic, Environmental and Social Statistics. Paris: OCDE.

**Odum, E.P.** 1972. Ecología. Tercera Edición. Editorial Interamericana. México, 639 pp.

**Oliveira, M.E., B.E. Vaughan, & E.J. Rykiel.** 2005. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. BioScience,. 55(7): pp. 593-602.

**Organization for economic cooperation and development** 2006. Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels. Disponible en: [www.oecd.org/dataoecd/58/62/36074135.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/58/62/36074135.pdf) última visita: junio 2018.

**Ozkan, B., A. Kurklu & H. Akcaoz.** 2003. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass & Bioenergy 98: pp.89-95.

**Panwar, N.L., S.C Kaushik & S. Kothari.** 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. Renewable Sustainable Energy Reviews. 15:pp.1513-1524.

**Pengue, W.** 2005. Transgenic crops in Argentina: the ecological and social debt. Bulletin of Science, Technology and Society N° 25: pp 314-322.

**Pimentel, D.** 2003. Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative. Natural Resources Research 12: pp.127-134

**Pimentel, D & T.W. Patzek.** 2005. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Research 14: pp. 65-76.

- Pimentel, D. & T.W. Patzek.** 2008. Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane, in Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems. pp. 357-371.
- Pimentel, D. & M. Pimentel.** 1997. Food, energy, and society. 2 nd Ed., University Press of Colorado, Niwot, CO.
- Pimentel D, G. Berardi & S. Fast.** 1990. Energy efficiencies of farming wheat, corn, and potatoes organically. En: Organic farming current technology and its role in a sustainable agriculture. ASA special publication number 46. Segunda edición. American Society of Agronomy- Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison. EEUU. 12: pp. 151-161.
- Pimentel D., M. Pimentel & M. Karpenstein-Machan.** 1998. Energy use in Agriculture: an overview. Disponible en: [http:// www. baen.tamu.edu/cigr/submissions/CIGRE98-0001/energy.pdf](http://www.baen.tamu.edu/cigr/submissions/CIGRE98-0001/energy.pdf). Último acceso: Julio 2018.
- Pimentel D., A. Pleasant, J. Barron, J. Gaudioso, N. Pollock, E. Chae, Y. Kim, A. Lassiter, C. Schiavoni, A. Jackson, M. Lee & E. Eaton.** 2004. US Energy conservation and efficiency: Benefits and costs. Environment, Development and Sustainability, 6: pp. 279-305.
- REN 21. Energías renovables 2016.** Reporte de la situación mundial en español. Red de políticas en energía renovable para el siglo 21. Disponible en [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf) Última visita 17 de Julio de 2018.
- Rhodes R. & D. Beller.** 2004. "The Need of Nuclear Power", en Foreign Affairs, 79 (1), pp. 31-44.
- Ribeiro, S. 2006.** Biocombustibles y transgénicos. Disponible en [www.ecoportal.net](http://www.ecoportal.net). Última visita 17 de Julio de 2018.
- SAGPyA –IICA.** 2005. Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil. 1º Ed. Ed. IICA-SAGPyA.
- Salinas Callejas, E. & V. Gasca Quezada.** 2009. Los biocombustibles. El Cotidiano [en línea], (Septiembre-Octubre): [Fecha de consulta: 18 de julio de 2018] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009> Última visita 17 de Julio de 2018.
- Salvi, B.L. & N.L. Panwar.** 2012. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: pp.3680-3689.

**Sarandón, S.J.** 2002. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata.1: pp. 23-48.

**Sarandón S. J. & C. Flores.** 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. Libro de cátedra 1ª edición Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 466 pp.

**Sarandón, S.J. & R. Sarandón.** 1993. Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable En: Goin F y C Goñi (Eds.) Bases para una política ambiental de la R. Argentina, Sección III, 19: pp. 279-286.

**Searchinger T., R. Heimlich, R. A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes & Tun-Hsiang Yu.** 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change Vol. 319, Issue 5867, pp. 1238-1240.

**Siliceo Rodriguez, M.L.** 2014. Análisis de la productividad industrial de bioetanol. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias químicas.

**Stachett, G., A. Rodríguez, C. Buschinelli, & M. Ligo.** 2007. Socio environmental al impact of biodiesel production in Brazil. Journal of Technology management y innovation N°2 pp. 46-66.

**Torres, E. & R. Hernández.** 2006. Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabras. Acta Universitaria 16: pp. 27.

**Ugolini, J.** 2002. Biodiesel, Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del Biodiesel.

**Vandermeer, J.** 1995. The ecological basis of alternative agriculture. Annual Review of Ecological Systems, 26: pp. 201-224.

**Voloj B. & M. M. Di Paola.** 2011. El escenario de los "Biocombustibles" en Argentina Informe ambiental al Anual. FARN pp 335-351.

**World Energy Outlook.** 2017. Resumen ejecutivo 2017 spanish traslation © OCDE/AIE.

**Sitios Web:**

**Cámara argentina de biocombustibles** <http://carbio.com.ar/>

**International Energy Agency Website:** [www.iea.org](http://www.iea.org)